

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін

**ХІМОТОЛОГІЯ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ.
АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА**

Конспект лекцій

Харків – 2016

Жалкін Д.С., Жалкін С.Г. Хімотологія дизельних палив. Альтернативні види палива: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 58 с.

У даному конспекті лекцій наведено матеріали, що стосуються хімотології дизельних палив. Крім загальних властивостей дизельних палив та вимог до його якості й умов застосування, розглянуто причини жорсткої роботи дизельних двигунів, поняття цетанового числа. Надано способи регулювання цетанового числа, метод його визначення і розрахунку.

В стислій формі розглянуто вплив деяких показників палива – густини, в'язкості, низькотемпературних властивостей (температур помутніння, застигання), фракційного складу, у т.ч. вмісту сірки та сірчаних сполучень та інших – на повноту згоряння палива, його витрату, склад відпрацьованих газів, процес парафінізації. Надані характеристики, асортимент та умовне позначення дизельних палив, що застосовуються, як вітчизняних, так і зарубіжних.

Окремо розглянуто питання нагароутворення та смоловідкладення, їх склад та умови утворення. Наведена інформація щодо застосування присадок та добавок до палива, надано асортимент та призначення добавок.

Розглянуто проблему можливості та доцільності застосування альтернативних палив, таких як природні та інші гази, спирти, ефіри, біопалива, водень та ін. Наведено матеріали щодо їх практичного застосування, проаналізовано позитивні та негативні наслідки для ДВЗ та навколишнього середовища.

Рекомендується студентам, що навчаються за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» та вивчають курс «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства».

Іл. 2, табл. 10, бібліогр.: 15 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 21 березня 2016 р., протокол № 27.

Рецензент
проф. О. Б. Бабанін

Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін

ХІМОТОЛОГІЯ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ.
АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск Максимов М.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 04.07.16 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,50. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Український державний університет залізничного транспорту

Механічний факультет

Кафедра «Експлуатація та ремонт рухомого складу»

Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін

Хімотологія дизельних палив.
Альтернативні види палива

Конспект лекцій з дисципліни
«Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та
екологія локомотивного господарства»

Харків 2016

Жалкін Д.С., Жалкін С.Г. Хімотологія дизельних палив. Альтернативні види палива: Конспект лекцій. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. - 42 с.

У даному конспекті лекцій наведено матеріали, що стосуються хімотології дизельних палив. Крім загальних властивостей дизельних палив та вимог до його якості й умов застосування, розглянуто причини жорсткої роботи дизельних двигунів, поняття цетанового числа. Надано способи регулювання цетанового числа, метод його визначення і розрахунку.

В стислій формі розглянуто вплив деяких показників палива – густини, в'язкості, низькотемпературних властивостей (температур помутніння, застигання), фракційного складу, у т.ч. вмісту сірки та сірчаних сполучень та інших - на повноту згоряння палива, його витрату, склад відпрацьованих газів, процес парафінізації. Надані характеристики, асортимент та умовне позначення дизельних палив, що застосовуються, як вітчизняних, так і зарубіжних.

Окремо розглянуто питання нагароутворення та смоловідкладення, їх склад та умови утворення. Наведена інформація щодо застосування присадок та добавок до палива, надано асортимент та призначення добавок.

Розглянуто проблему можливості та доцільності застосування альтернативних палив, таких як природні та інші гази, спирти, ефіри, біопалива, водень та ін. Наведено матеріали щодо їх практичного застосування, проаналізовано позитивні та негативні наслідки для ДВЗ та навколишнього середовища.

Рекомендується студентам, що навчаються за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» та вивчають курс «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства».

Іл. 2, табл. 10, бібліогр.: 15 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» 21 березня 2016 р., протокол № 27.

Рецензент

проф. О. Б. Бабанін

ЗМІСТ

1	Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості	4
2	Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив	
10		
3	Асортимент зарубіжних дизельних палив	
14		
4	Смоло- і нагароутворення у ДВЗ	
15		
5	Поліпшення якості нафтових палив	
18		
6	Альтернативні види палива	
22		
7	Правила поводження з паливом	
38		
	Питання для модульного контролю	
40		
	Список літератури	
42		

1 Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості

Дизельне паливо являє собою гасовогазойлеві фракції переробки нафти з температурами кипіння від 200 до 350 °С. Це прозора, більш в'язка порівняно з бензином, рідина від жовтого до світло-коричневого кольору. Його забарвлення залежить від концентрації смол.

Дизельне паливо - це горюча рідина; температурні границі займання — від 57 до 119 °С, а температура самозаймання - 300...250 °С.

У дизелях, на відміну від карбюраторних двигунів, не застосовують іскрове запалення, і паливно-повітряна суміш запалюється внаслідок самозаймання при стискуванні. Тому для дизелів доцільно використати паливо з порівняно низькою температурою самозаймання.

Дизельне паливо порівняно з бензином має істотний недолік - набагато обмежена сировинна база. Дизельне паливо виробляють переважно прямою перегонкою й каталітичним крекінгом із наступним очищенням. При цьому при прямій перегонці вихід бензину 10...15 %, дизельного палива 15...20 %; каталітичним крекінгом добувають бензину 40-50 %, дизельного палива 10...15 % від кількості переробленої нафти. Крім того, бензин виробляють не лише з нафти, а й із газів, вугілля, важких нафтопродуктів, у тому числі дизельного палива. Перехід автівок, сільгосптехніки та будівельно-дорожніх машин на дизелі також призводить до дефіциту дизельного палива.

Дизельне паливо повинне відповідати таким вимогам:

- мати оптимальні щільність, поверхневе натягнення, випаровуваність і самозаймистість;
- зберігати текучість при низьких температурах;
- бути хімічно і фізично стабільними;
- мати мінімальну корозійну дію;
- не містити води і механічних домішок, сірчаних з'єднань, водорозчинних кислот і лугів;
- мати тонке розпилування та хороше сумішоутворення й згорання;
- повне згорання без утворення диму, щоб двигун легко запускався й м'яко працював;
- якнайменше утворення нагару на клапанах, кільцях, поршнях і відкладень у зоні розпилувачів форсунки й у камері згорання.

Від якості палива залежить надійність роботи двигуна і, як наслідок, витрати на його обслуговування та ремонт і, зрештою, собівартість експлуатації локомотива.

Цетанове число дизельного палива визначається відсотковим складом (за об'ємом) цетану в еталонному паливі, що має однакове самозаймання з досліджуваним паливом.

Схильність цетану до самозаймання умовно оцінюється у 100 одиниць, а альфаметилнафталіну - в нуль.

Альфаметилнафталін ($C_{10}H_7CH_3$) - це чистий вуглеводень, ароматичного ряду, характеризується найбільшим періодом затримки та

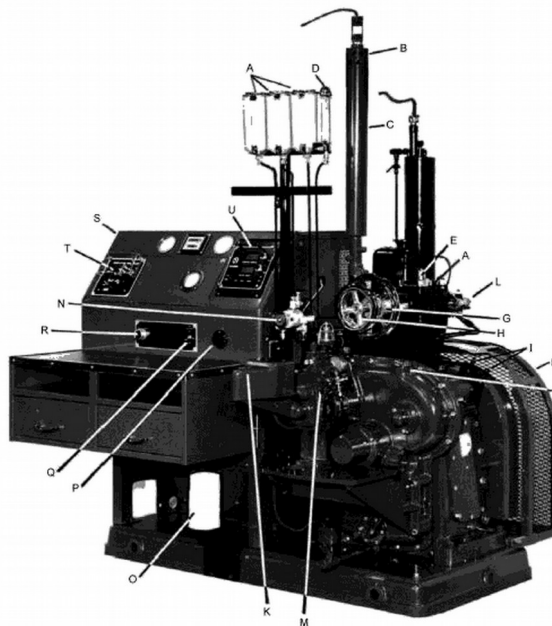
високою температурою самозаймання. Звідси різко збільшується тиск на 1град. ОКВ і жорстка робота двигуна.

Цетан ($C_{16}H_{34}$) - це чистий вуглеводень парафінового ряду, для якого характерними є найшвидший розпад й окиснення у стисненому повітрі під впливом температури та тиску. Він має найменший період затримки самозаймання, що забезпечує м'яку роботу двигуна.

При змішуванні цетану з альфаметилнафталіном у різних співвідношеннях одержують низку еталонного палива з різною схильністю до самозаймання. Чим більше цетану в суміші, тим вища її схильність до самозаймання.

Для визначення самозаймання дизельного палива треба підібрати такий склад суміші цетану й альфаметилнафталіну, який був би рівнозначний за температурою самозаймання досліджуваному паливу.

Цетанове число можна визначити за збігом спалахів, затриманням самозаймання і за критичною мірою стискування. Зазвичай цетанове число визначають за методом збігу спалахів, використовуючи для цього одноциліндрову установку WAUKESHA CFR-F5U (ИТ9-3М), яка працює за принципом самозаймання палива від стискування. Конструкція установки забезпечує зміну міри стискування в межах 7...23 (рисунок 1).



- A - паливні баки; B - кожух нагрівача повітря; C - глушник повітрязабірника;
D - бюретка вимірювання витрати палива; E - датчик займання; F - захисний кожух;
G - ручний маховик плунжера змінного ступеня стиснення; H - стопорне колесо маховика плунжера змінного ступеня стиснення; I - датчики маховика; J - кришка масляного фільтра; K - соленоїд аварійного відключення паливного насоса; L - форсунка; M - паливний насос;
N - селекторний кран перемикачання паливних баків; O - оливний фільтр; P - регулятор нагрівача моторної оливи; Q - перемикач нагрівача повітря; R - панель запуску-зупинки двигуна; S - приладова панель; T - регулятор температури повітря, що подається;
U - подвійний цифровий вимірювач цетанового числа

Рисунок 1 - Установка для визначення цетанового числа

Випробування проводять таким чином. Запускають двигун установки і задають йому стандартний режим роботи. Потім двигун переводять на випробовуване паливо. Кут випередження впорскування встановлюють рівним 13° до приходу поршня у ВМТ. Потім зміною міри стискування домагаються початку самозаймання палива строго у ВМТ. Після цього в тих же умовах переводять двигун на суміш цетану і α -метилнафталіну, або ізооктану, підбираючи такий її склад, щоб вона при знайдений мірі стискування також займалася строго у ВМТ. Тоді відсотковий вміст цетану в цій суміші і показує цетанове число випробовуваного палива.

Цетанове число випробовуваного палива CN_s ,

$$CN_s = CN_{LRF} + \left(\frac{HW_s - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}} \right) \cdot (CN_{HRF} - CN_{LRF}), \quad (1)$$

де CN_{LRF} - цетанове число низькоцетанового еталонного палива;
 CN_{HRF} - цетанове число високоцетанового еталонного палива;
 HW_s - показання для зразка;
 HW_{LRF} - показання для низькоцетанового еталонного палива;
 HW_{HRF} - показання для високоцетанового еталонного палива.

Цетанове число палива можна підвищити двома способами: регулюванням вуглеводневого складу палива або введенням спеціальних присадок.

Перший спосіб ґрунтується на тому, що гемологічні ряди вуглеводнів за ознаками зниження цетанового і підвищення октанового чисел розміщуються в одному й тому самому порядку: нормальні парафіни - ізопарафіни - нафтени - ароматичні вуглеводні. Отже, цетанове число можна значно підвищити, збільшуючи відсоток різних нормальних парафінів і знижуючи — ароматичних.

Другий спосіб ґрунтується на введенні кисневмісних добавок (органічні пероксиди, складні ефіри, спирти тощо). Введення в паливо всього 1 % присадок дає змогу підвищити цетанове число на 8...12 одиниць.

Процес сумішоутворення та згоряння палива у дизелі значною мірою залежить від конструкції камери згоряння і характеризується періодом затримки самозаймання — часом від моменту впорскування суміші в циліндр дизеля до її займання. Паливо в циліндрі двигуна займається не відразу, а через деякий час, який називається *періодом затримки самозаймання*. У разі великої затримки самозаймання паливоповітряної суміші в циліндрі дизеля накопичується і відразу згоряє велика частина палива. Це спричиняє різке наростання тиску на кожний градус оберту колінчастого вала. При цьому спостерігається жорстка робота двигуна. *Жорсткість роботи дизеля*, що характеризується швидкістю збільшення тиску залежно від кута ОКВ, пов'язана із затримкою самозаймання палива. Її оцінюють за збільшення тиску на 1град ОКВ. Вважається, що *двигун працює м'яко* за збільшення

тиску до 0,25...0,50 МПа на 1град ОКВ, *жорстко* — за 0,6...0,9 МПа і *дуже жорстко*, коли тиск перевищує 0,9 МПа (такий режим може призвести до швидкого виходу двигуна з ладу).

Зовнішні ознаки жорсткої роботи двигуна ідентичні детонаційному згорянню бензину в бензинових двигунах, тобто прослуховується характерний металічний стук від дії ударної хвилі на поршень двигуна. Такт стиску в дизелі супроводжується вібрацією та перегріванням двигуна. Крім того, збільшуються витрати палива й оливи, а також димність і токсичність відпрацьованих газів. При збільшенні ступеня стиску зменшується час затримки самозаймання палива, знижуються швидкість зростання тиску, питома витрата палива, робота дизеля стає повільною та м'якою і поліпшуються пускові якості. Проте процес залежить не тільки від конструктивних особливостей дизельного двигуна, а й від властивостей самого палива.

Прокачування палива, робота паливного насоса, зношування прецизійних пар і форсунок, для яких паливо одночасно є й *мастилом*, тонкість розпилення та повнота згорання палива, його витрати, склад відпрацьованих газів великою мірою залежать від в'язкості дизельного палива, його низькотемпературних властивостей, наявності механічних домішок і води.

В'язучі властивості. Вони характеризуються густиною, в'язкістю та поверхневим натягом палива.

За *густиною* дизельні палива різняться мало (коливання при 20 °С не виходить за межу 830...860 кг/м³).

Поверхневий натяг при 20 °С становить 25...30 нМ/м³. Однак за в'язкістю та іншими властивостями марки дизельного палива можуть мати великі розбіжності.

В'язкість дизельного палива дуже залежить від температури, тому коли говорять про в'язкість, то обов'язково зазначають, за якої температури вона визначалась. Із підвищенням температури в'язкість дизельного палива зменшується і навпаки. В'язкість дизельного палива приблизно в п'ять разів вища від бензину.

В'язкість дизельних палив зазвичай нормується при температурі 20°С. При підвищенні температури в'язкість зменшується незначно. При зниженні температури до негативних значень в'язкість істотно зростає (таблиця 1).

Таблиця 1 - Залежність в'язкості дизельного палива від температури

Паливо дизельне	Кінематична в'язкість, мм ² /с, при температурі °С			
	+20	0	-10	-20
літнє	6,36	12,94	20,59	50,92
зимове	4,26	8,36	12,43	20,60

При значних значеннях в'язкості опір настільки зростає, що порушується нормальна подача палива і робота паливного насоса. Тому з метою попередження парафінування паливних фільтрів та значного

зростання в'язкості всі тепловози обладнують паливопідігрівачами, які вмикають при зниженні температури повітря до 10 °С і нижче, тобто обмежують в'язкість в межах 6...8 мм²/с. З метою попередження зниження циклової подачі, збільшення внутрішніх витоків у насосах та форсунках, зниження тиску впорскування нижня межа в'язкості обмежується на рівні 1,5...1,8 мм²/с при температурі 20 °С.

Важливими показниками дизельного палива є його низькотемпературні властивості – температури помутніння та застигання.

Температурою помутніння називають температуру, при якій втрачається фазова однорідність палива. На вигляд воно стає мутним. При температурі 0 °С відбувається утворення кристалів льоду. Якщо паливо починає мутніти при нижчій або при більш високій температурі, то це відбувається за рахунок виділення з нього твердих парафінових вуглеводнів.

Паливо втрачає свою прозорість, мутніє також внаслідок виділення мікроскопічних кристалів льоду (у паливі завжди є гігроскопічна вода) й, основне, твердих вуглеводнів. З помутнінням паливо не втрачає рухливості. Кристали мають такі розміри, що проходять крізь елементи фільтрів грубої очистки, але можуть частково або повністю закупорити пори фільтрів тонкої очистки і порушити подачу палива до насосів і форсунок.

Температура застигання дизельного палива практично значення не має у зв'язку з тим, що його подача припиняється вже за температури помутніння палива. Нормальна робота дизеля можлива за умови, коли температура застигання палива на 5...10 °С нижча, ніж температура навколишнього повітря, або коли вона на 3...5 °С нижча від температури його помутніння.

Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива з нього (при виготовленні) видаляють парафін, додають присадки, що зменшують температуру кристалізації, полегшують фракційний склад і зменшують його в'язкість.

Процес видалення парафіну з палива, який дістав назву *депарафінації*, полягає у виморожуванні з нього парафіну - дуже складно та знижує цетанове число палива. Тому депарафінацію використовують тільки для виготовлення арктичних сортів дизельного палива.

Простіший і дешевший спосіб поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива полягає у застосуванні депресорних присадок, які зменшують температуру його застигання на 10...15 °С, але температура помутніння палива при цьому майже не змінюється.

Фракційний склад дизельного палива. Для нормальної роботи дизеля велике значення має утворення рівномірної паливно-повітряної суміші в циліндрі двигуна, для чого важлива не лише якість розпилювання палива форсункою, але і швидкість його випару.

Випаровуваність дизельного палива характеризується його фракційним складом. Велике значення має швидкість випару. Проте значне переважання в паливі легких фракцій негативно позначається на процесі згорання, викликає жорстку роботу.

Паливо, що складається з важких фракцій, повільніше випаровується, не повністю згорає (димний випуск), забруднює двигун відкладеннями нагару й закоксує розпилювачі форсунки. Таким чином, для двигунів тепловозів потрібне дизельне паливо деякого середнього фракційного складу, у якого немає легких і важких фракцій, що дають неповне згорання.

Показники такі, як коксовність, зольність, кислотність, механічні домішки, наявність води, наявність сірки мають таку дію, як і в бензині, і мають регламентовані величини. Наприклад, дизельне паливо, що застосовується у двигунах тепловозів, має мінімальну схильність до утворення коксу, а зольність допускається в межах не більше 0,02 %; допустима кислотність палива - не вище 5мг КОН на 100 мл. Недопустима також наявність в паливі води, оскільки вона викликає корозію паливної апаратури.

Нині дизельне паливо виготовляють в основному з нафти, що містить багато сірчаних сполук (запаси малосірчаних нафт обмежені). При перегонці нафти одержують газойлеві та соляркові дистиляти з вмістом сірки до 1,0...1,3 %. Багато сірки є і в дизельному паливі. Тому його корозійна дія оцінюється наявністю в ньому сірки та кислотністю.

Уміст сірки та сірчаних сполук у дизельному паливі в 4...10 разів більший, ніж у бензинах, що спричинює інтенсивне зношування циліндропоршневої групи. В сучасному дизельному паливі за різними стандартами вміст сірки нормується від 0,05 до 1,0 %.

Дизельне паливо із сумарним вмістом сірки не більше як 0,2 % не ускладнює роботу двигуна, тому його можна використовувати без обмежень. Однак, при переробці сірчаних нафт цю норму витримати не вдається, тому допускається випуск палива з вмістом сірки до 0,5 %.

Відомо, що підвищення вмісту сірки в дизельному паливі з 0,2 до 0,6 % призводить до збільшення зношування гільз циліндрів і поршневих кілець у середньому на 15 %, а до 1 % — у 1,5 рази. Ступінь впливу сірчаної корозії на двигуни різних конструкцій залежить від їхньої теплонапруженості.

Щільність дизельного палива коливається в межах 830...880 кг/м³ і її величину вписують в маршрут машиніста при наборі палива. Це необхідно тому, що питомі показники витрати палива нормуються у кілограмах віднесених до десяти тисяч тонокілометрів брутто (кг/10⁴ ткм брутто), кілограмах віднесених до кіловатгодин (кг/кВт·год), а витрати при екіпіруванні підраховуються у літрах (дм³).

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, дістав назву *йодного числа*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число не має перевищувати 6 г на 100 г палива. Чим більше йодне число, тим більше олефінів міститься в паливі і тим гірше воно за якістю. Олефіни при зберіганні та транспортуванні окислюються з виділенням смол, які порушують систему живлення і збільшують нагароутворення.

2 Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив

Основними виробниками українського дизельного палива є Кременчуцький НПЗ і Шебелинський ГПЗ. Ввезення дизельного палива для продажу на українському ринку здійснюється головним чином з Білорусії, Польщі, Росії, Литви, а також з країн Чорноморського та Середземноморського регіонів (Румунії, Болгарії).

Якість дизельного палива відповідає стандартам - ДСТУ 3868-99, ДСТУ 4840:2007 і ДСТУ 7688:2015. ДСТУ 7688:2015 «Дизельне паливо Євро. Технічні умови» введено в дію з 01.01.2016 р. Цей стандарт скасовує з 01.07.2016 р. дію усіх попередніх стандартів та технічних умов.

Нафтопереробні заводи України виробляють за ДСТУ 3868-99 дизельне паливо двох марок:

Л (літнє) - для експлуатації дизелів за температури навколишнього повітря не нижче -5°C ; З (зимове) - для експлуатації за температури не нижче -15°C (таблиця 2).

За вмістом сірки дизельні палива поділяються на чотири види:

- I - масова частка сірки не більше як 0,05 %, (500 мг/кг);
- II - масова частка сірки не більше як 0,10 %, (1000 мг/кг);
- III - масова частка сірки не більше як 0,2 %, (2000 мг/кг);
- IV - масова частка сірки не більше як 0,5%, (5000 мг/кг).

Таблиця 2 - Характеристики дизельних палив за ДСТУ 3868-99

Показник	Норма для палива марки	
	Л	З
Цетанове число, не менше	45	45
Фракційний склад: 50 % палива переганяється за температури, $^{\circ}\text{C}$, не вище	280	280
96 % палива переганяється за температури, $^{\circ}\text{C}$, не вище	370	370
Кінематична в'язкість за температури 20°C , $\text{мм}^2/\text{с}$, в межах	3...5	1,8...6,0
Температура застигання, $^{\circ}\text{C}$, не вище	-10	-25
Температура займання в закритому тиглі, $^{\circ}\text{C}$, не нижче, для: тепловозних, суднових дизелів і газових турбін	62	40
дизелів загального призначення	40	35
Масова частка сірки, %, не більше, в паливі виду:		
I	0,05	0,05
II	0,10	0,10
III	0,20	0,20
IV	0,50	0,50

Продовження таблиці 2

Показник	Норма для палива марки	
	Л	З
Масова частка меркаптанової сірки, %, не більше	0,01	0,01
Вміст сірководню	Відсутній	
Випробування на мідній пластинці	Витримує	
Концентрація фактичних смол, мг на 100 см ³ палива, не більше	40	30
Кислотність, мг КОН на 100 см ³ палива, не більше	5	5
Йодне число, г йоду на 100 г палива, не більше	6	6
Зольність, %, не більше	0,01	0,01
Коксівність 10 %-го залишку, %, не більше	0,30	0,30
Коефіцієнт фільтрації, не більше	3	3
Гранична температура фільтрації, °С, не вище	-5	-15
Вміст механічних домішок	Відсутній	
Вміст води	«	
Густина за температури 20°С, кг/м ³ , не більше	860	840

Приклади умовного позначення палив за ДСТУ 3868-99:

«Паливо дизельне Л-0,1-40 ДСТУ 3868-99» означає, що це літнє паливо з масовою часткою сірки 0,1 % і температурою займання 40 °С.

«Паливо дизельне З-0,1(-25) ДСТУ 3868-99» означає, що це зимове паливо з масовою часткою сірки 0,1 % і температурою застигання -25 °С.

Дизельне паливо за ДСТУ 4840:2007 екологічного класу Євро 4 відповідає загальним технічним вимогам, встановленим у європейських стандартах EN 590:2009. За вмістом сірки дизельні палива ділять на два види:

I - вміст сірки не більше ніж 10 мг/кг, (0,001 %);

II - вміст сірки не більше ніж 50 мг/кг, (0,005 %).

Залежно від умов використання встановлюють такі марки та класи дизельного палива:

а) для експлуатування в умовах помірного клімату:

марка А - гранична температура фільтрованості не вище ніж 5 °С;

марка В - гранична температура фільтрованості не вище ніж 0 °С;

марка С - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 5 °С;

марка D - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 10 °С;

марка Е - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 15 °С;

марка F - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 20 °С.

б) для експлуатування в умовах арктичного клімату:

клас 0 - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 20 °С;

клас 1 - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 26 °С.

Умовна позначка дизельного палива охоплює його марку або клас залежно від граничної температури фільтрованості. Приклад позначки:

- для помірного клімату «Паливо дизельне підвищеної якості (Євро) марки С виду І згідно з [ДСТУ 4840:2007](#)»;

- для арктичного клімату «Паливо дизельне підвищеної якості (Євро) класу 1 виду ІІ згідно з [ДСТУ 4840:2007](#)».

Дизельне паливо за ДСТУ 7688:2015 екологічного класу Євро 5 відповідає загальним технічним вимогам, встановленим у європейських стандартах EN 590:2013.

За кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива:

Л - літнє, що використовують за температури повітря не нижче ніж 5 °С;

З - зимове, що використовують за температури повітря від 5 °С до мінус 20 °С;

Арк - арктичне, що використовують за температури повітря нижче ніж мінус 20 °С.

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи дизельного палива: Євро3, Євро4, Євро5.

За фізико-хімічними та експлуатаційними показниками паливо повинне відповідати вимогам, зазначеним в таблиці 3.

Таблиця 3 - Характеристики дизельних палив за ДСТУ 7688:2015

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арк	
1 Цетанове число, не менше	51	49	48	Згідно з ГОСТ 3122, ДСТУ ISO 5165 та ДСТУ-Н 7622, або ASTM D 613, або EN 15195, або EN 16144
2 Цетановий індекс, не менше	46,0			Згідно з ДСТУ ISO 4264 або ГОСТ 27768, або ASTM D 4737
3 Густина за температури 15 °С, кг/м ³ , у межах	820-845	800-845	800-840	Згідно з ДСТУ EN ISO 3675, або ДСТУ ISO 12185, ДСТУ ГОСТ 31072, або ASTM D 1298, або ASTM D 4052
4 Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше: Євро5 Євро4 Євро3	8 11 11			Згідно з ДСТУ EN 12916 або EN 12916
5 Вміст сірки, мг/кг, не більше: Євро5 Євро4 Євро3	10 50 350			Згідно з ДСТУ ISO 20846, або ДСТУ ISO 20846, або EN ISO 20884, або EN ISO 13032

6 Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче: Євро5 Євро4 Євро3	55 55 40	Згідно з ДСТУ ISO 2719, або ГОСТ 6356, або ASTM D 93, або EN ISO 2719
---	----------------	---

Продовження таблиці 3

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	3	Арк	
7 Коксованість 10-відсоткового залишку, % (мас.), не більше	0,30			Згідно ДСТУ EN ISO 10370, або ГОСТ 19932, або ГОСТ 8852, або ASTM D 189, або ASTM D 524, або EN ISO 10370
8 Зольність, % (мас.), не більше	0,01			Згідно ДСТУ EN ISO 6245, або ГОСТ 1461, або ASTM D 482
9 Масова частка води %, (мг/кг), не більше	0,02 (200)			Згідно з ДСТУ ISO 12937, або ГОСТ 2477
10 Масова частка домішок, мг/кг, не більше	24			Згідно з ДСТУ EN 12662, або ГОСТ 6370
11 Корозія мідної пластинки (3 год за температури 50 °С) клас, не більше	1			Згідно з ДСТУ EN ISO 2160, або ГОСТ 6321, або ASTM D 130
12 Окиснювальна стабільність, - г/м ³ , не більше або - год, не менше	25 20			Згідно з ДСТУ ISO 12205, або ДСТУ 7684, або ASTM D 2274, або EN 15751
13 Змащувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60 °С, мкм, не більше	460			Згідно з ДСТУ ISO 12156-1
14 Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с, у межах	2,00 -4,5	1,5- 4,0	1,5- 4,0	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33, або ASTM D 445, або EN ISO 3104
15 Фракційний склад: - за температури 250 °С випаровується, % (об.), не більше - за температури 350 °С випаровується, % (об.), не менше - 95 % (об.) переганяється за температури, °С, не вище	65 85 360			Згідно з ГОСТ 2177 (метод А), або ДСТУ ISO 3924, або ASTM D 86, або EN ISO 3405
16 Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот, %, <ul style="list-style-type: none"> - для дизельних палив В0 - для дизельних палив В5 - для дизельних палив В7 	0 Не більше 5 Понад 5 та не більше 7			Згідно з ДСТУ EN 14078, або EN 14078
17 Гранична температура фільтрованості, °С, не вище	-5	-20	-30	Згідно з ДСТУ EN 116, або ГОСТ 22254, або EN 16329
18 Температура помутніння, °С, не вище	-	-	-20	Згідно з ГОСТ 5066 (метод Б), або ДСТУ ISO 3015, або ASTM D 2500

19 Вміст марганцю, мг/дм ³ , не більш	-	-	2,0	Згідно з EN 16576
--	---	---	-----	-------------------

Умовна позначка дизельного палива містить:

- літери ДП (позначення дизельного палива);
- літерне позначення марки (Л, З, Арк);
- символ екологічного класу (Євро3, Євро4, Євро5);
- символ визначення вмісту (об'ємної частки) метилових/етилових естерів жирних кислот (В0 - у разі їх відсутності; В5 - не більше ніж 5 %; В7 - понад 5 % та не більше ніж 7 %).

Приклад позначки дизельного палива літнього екологічного класу Євро4 з вмістом метилових/етилових естерів жирних кислот понад 5 % та не більше ніж 7 %:

«Паливо дизельне ДП-Л-Євро4-В7 згідно з ДСТУ 7688:2015».

Позначка палива може містити торгову марку (товарний знак) виробника.

Приклад позначки дизельного палива торгової марки «ХХХ» арктичного екологічного класу Євро3 без вмісту метилових/етилових естерів жирних кислот:

«Паливо дизельне ХХХ-ДП-Арк-Євро3-В0 згідно з ДСТУ 7688:2015».

3 Асортимент зарубіжних дизельних палив

Європейський стандарт EN 590 діє в країнах ЄЕС з 1996 р. Стандарт передбачає випуск дизельних палив для різних кліматичних регіонів.

Для районів з помірним кліматом, згідно зі стандартом EN 590, виробляють шість марок дизельного палива: А, В, С, Д, Е і F з граничною температурою фільтрування, °С, відповідно 5; 0; -5; -10; -15 і -20.

Для районів з холодним кліматом цим самим стандартом передбачено випуск п'яти класів дизельного палива з такими низькотемпературними властивостями:

Клас	0	1	2	3	4
Температура, °С, не вище:					
помутніння	-10	-16	-22	-28	-34
граничної фільтрації	-20	-26	-32	-36	-44

У таблиці 4 показана відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва.

Таблиця 4 - Відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва

Паливо за ГОСТ 305-82	Зарубіжне паливо		
	Марка	Специфікація	Країна
Л	№3	JIS 2204-83	Японія

	2 D	ASTM 975-83	США
3	<i>TIPA Special ID</i>	CAN 2-3.6-M-83 JIS 2204-83 ASTM 975-81	Канада Японія США
A	<i>TIPA A</i>	CAN 2-3.6-M-83	Канада

4 Смоло- і нагароутворення у ДВЗ

Накопичення смол і нагару на деталях двигуна залежить від конструктивних особливостей системи живлення і камери згорання, режиму роботи двигуна, а головне — від якості застосованих палив і мастильних олій.

У бензинах, як і у будь-яких нафтопродуктах, майже завжди в розчиненому стані знаходяться смолянисті і смолоутворюючі речовини. Кількість їх залежить від хімічного складу, способу отримання і якості очищення бензину. З часом, а також під дією кисню, повітря і підвищеної температури в паливі відбуваються зміни: збільшується кількість смолянистих речовин.

Смолоутворення в нагрітому бензині та на світлі відбувається швидше, ніж у холодному і в темряві. Тому бензини треба зберігати в герметичній тарі за якомога нижчої температури (краще в підземних сховищах).

Наявність у бензині води, міді, а також свинцю сприяє смолоутворенню, тобто вони є каталізаторами. Особливо швидко смоли утворюються в баках машин при тривалому зберіганні, а також влітку під дією підвищених температур.

Мінеральні кислоти й інші водорозчинні кислі сполуки дуже впливають як на чорні, так і на кольорові метали, а луги — лише на кольорові. У свіжому бензині майже не повинно бути мінеральних кислот і лугів, тобто паливо має бути нейтральним. Однак із часом кислотність бензину збільшується.

Наявність активних сірчистих сполук у паливі виявляють випробуванням на мідну пластинку, яку після ретельного очищення витримують в паливі протягом 3 год за температури 50 ± 2 °С. Максимальна кількість сірки в автомобільних бензинах — не більш як 0,1 %, в останніх — 0,05, оскільки з її підвищенням зношування деталей двигуна різко зростає. Наявність у паливі сірчаних сполук (особливо дисульфідів та меркаптанів) погіршує його стабільність і сприяє смолоутворенню.

Про наявність смол у паливі можна судити візуально за його кольором. Чим більше у паливі смол, тим інтенсивніше його забарвлення (колір бензину набуває темно-коричневих тонів). Наявність смол у паливі є великою небезпекою для двигуна. Під час роботи смоли відкладаються у карбюраторі, а також трубопроводах, порушуючи подачу палива, що призводить до нагароутворення і зупинки двигуна. Нагар утворюється на поверхнях клапанів, зумовлюючи їх пригорання.

Зі збільшенням кількості смол у бензині знижується, як правило, його октанове число та зростає кислотність, що спричинює значну ерозію металу.

Смоли, що знаходяться у бензині в теперішню мить, називають *фактичними*. Їх кількість визначають випарюванням бензину за певних умов. Вміст фактичних смол нормується в міліграмах на 100 мл бензину. Для різних марок бензину кількість смол знаходиться в межах 2...15 мг на 100 мл.

Смоли, накопичуючись у бензині, осідають в паливних баках, на стінках бензопроводів, в карбюраторі, зменшують прохідні перерізи отворів жиклерів, що калібруються, порушуючи нормальну роботу системи живлення. При утворенні горючої суміші важкі вуглеводні палива не випаровуються повністю, а залишаються у вигляді конденсату. Тім більше не можуть випаруватися смолянисті з'єднання, які мають велику молекулярну масу. Ці з'єднання відкладаються на стінках всмоктуючого колектора і клапанах. Особливо небезпечне накопичення смол на направляючих втулках випускних клапанів, що викликає їх зависання і пригорання та порушення робочого процесу двигуна. Найбільш інтенсивне накопичення смол відбувається на гарячих стінках трубопроводів, де смолисті речовини поступово ущільнюються і утворюють тверді нагаровідкладення, які зменшують площу перерізу трубопроводу, викликаючи тим самим зниження потужності і економічності двигуна. Відкладення нагару на поверхні камери згорання може служити причиною замкнення електродів свічки.

Дизельне паливо, що містить значну кількість смолянистих з'єднань, не в змозі повністю згоріти, що сприяє накопиченню нагару.

Нагаровідкладення накопичуються на клапанах і голівці поршня, в камері згорання, на соплах форсунок і у вихлопній системі. Вони викликають швидкий знос деталей циліндропоршневої групи, пригорання поршневих кілець і клапанів, погіршення розпилу палива, знижують, а іноді і припиняють його подання в циліндр двигуна. При підвищенні нагаровідкладень погіршується відведення теплоти та відпрацьованих газів, що призводить до перегрівання двигуна і падіння його потужності.

До складу нагару входять вуглецеві продукти (92...96 %) - кокс, смолянисті речовини, олія і негорюча частина (4...6 %) - кремній, залізо, свинець та ін. В нагарі можуть бути наявними сірка (при роботі двигуна на сірчистому паливі), а також інші речовини, що потрапляють в камеру згорання з паливом, повітрям або з олією.

Вплив властивостей дизельного палива на утворення відкладень у двигуні оцінюють коксівністю, зольністю та йодним числом.

Коксівність — це здатність нафтопродукту утворювати кокс під час згорання. Коксівність оцінюється коксовим числом.

Коксове число характеризує здатність палива утворювати вугільний залишок за високотемпературного (800...900 °С) розкладання палива без доступу повітря. Коксівність палива залежить від хімічного

складу і наявності в ньому продуктів окисної полімеризації, а також від кількості вуглеводнів, що мають низьку термоокисну стабільність. Коксівність дизельного палива має бути не більшою за 0,3 %, а палива підвищеної якості — не більшою за 0,035 %.

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, дістав назву *йодного числа*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число має не перевищувати 6 г на 100 г палива.

Схильність палива до *лакоутворення* оцінюють за вмістом лаку в міліграмах на 100 мл палива, для чого випаровують невелику кількість палива у спеціальному лакоутворювачі при температурі 250 °С.

Зольність палива характеризує вміст в ньому домішок, що не згорають. Наявність золи підвищує нагароутворення. Зола, яка потрапляє в олію, викликає прискорений знос деталей. Допустимий вміст золи в дизельному паливі 0,01...0,02 %.

Інтенсивність утворення нагару залежить від властивостей палива, наявності в ньому сірки, смол, золи, а також навантаження і температурного режиму двигуна.

Вплив сірки на утворення нагару пов'язаний з більш ефективним процесом окисної полімеризації вуглеводнів у присутності сполук сірки, в тому числі продуктів її згорання.

Вміст сірки в паливі також впливає на утворення відкладень. Чим вище її вміст в паливі, тим більше нагару і лаку утворюється при його згоранні. Сірчисті з'єднання, які накопичуються в нагарі, підвищують його щільність. Схильність до нагароутворення зростає при збільшенні вмісту в дизельному паливі ароматичних вуглеводнів.

Наявність меркаптанів, сприяючи утворенню смол поряд зі смолами з олефінів та фактичними смолами, які є у паливі, призводить до осадження на запірних голках лакової плівки (з часом це зумовлює зависання голок розпилювача форсунок). Сірка у паливі шкідлива тому, *що при роботі двигуна на сірчистому паливі утворюється більше нагару, інтенсифікується процес старіння олії*.

Розрізняють *дві фази відтворення нагару* : його зростання і рівноважний стан. Збільшення нагару до граничного значення за товщиною залежить від температурних умов, якості палива, оливи і складу суміші. Закінчується ця фаза досить швидко. Після того, як шар нагару за висотою досягне граничної величини, яка залежить від теплового режиму двигуна, збільшення товщини нагару припиняється і настає фаза рівноважного стану. При цьому нагар, що знову утворюється, вже не накопичується на деталях, а вигорає і разом з продуктами згорання виноситься у випускний тракт.

Вміст смолистих речовин в дизельних паливах оцінюється так само, як і у бензинах, *визначенням вмісту фактичних смол*. З підвищенням вмісту фактичних смол в дизельному паливі схильність до нагароутворення зростає. Одна з вимог до якості дизельного палива - вміст фактичних смол не повинен

перевищувати 36...60 мг на 100 мл. Фактичні смоли, що є в дизельному паливі - це домішки, які залишилися після очищення базових дистилатів.

Наявність смол у паливі також збільшує нагар і закоксованість кілець. Тому кількість їх у паливі суворо обмежується стандартом. Проте на утворення нагару в камері згоряння впливають не тільки смоли, а й фракційний склад палива та в'язкість і, як наслідок, погане розпилювання палива, неповне його випаровування та згоряння, що призводить до утворення високотемпературних відкладень, продукти яких осідають на деталях двигуна.

На процес нагароутворення впливають також якість неорганічних домішок, стабільність палива і наявність в ньому неграничних вуглеводнів. Про кількість останніх судять за водневим числом. Найбільше на цей процес впливає на зниження тиску впорскування, через що різко погіршується якість розпилювання палива. Ось чому не рекомендується тривала робота дизелів на малих обертах та холостому ході.

Внаслідок окиснення олефінів при транспортуванні та зберіганні дизельного палива кількість фактичних смол у ньому збільшується, що погіршує нормальну роботу системи живлення двигуна. Якщо смоли потрапляють у камеру згоряння, утворення нагару на деталях двигуна збільшується, що погіршує його економічні та тягові показники.

5 Поліпшення якості нафтових палив

Для поліпшення показників бензину і дизельного палива до них можуть бути додані спеціальні присадки (перекис тетраліну, перекис ацетилу, хлор та ін.). Добавка незначної кількості цих речовин в паливі усуває окремі його недоліки.

Присадки — це речовини, які додаються до нафтопродукту (палива або мастильного матеріалу) для надання йому спеціальних властивостей або підсилення природних.

Присадки можна поділити на чотири групи:

- які поліпшують процес згоряння палива - антидетонатори, протидимні (зменшують нагароутворення й скорочують затримку самозаймання);
- які сприяють збереженню первинних показників якості палива - антиокиснювальні, диспергуючі (перешкоджають осаджуванню на деталях двигуна твердих продуктів з палива), діактиватори металів;
- які зменшують шкідливу дію палива на паливну апаратуру - протизношувальні, антикорозійні;
- які полегшують експлуатацію двигуна за низьких температур - депресорні (знижують температуру застигання палив) та присадки, що перешкоджають виділенню кристалів льоду та парафіну.

До бензинів найчастіше додають антидетонаційні та антиокиснювальні присадки. Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельних палив виконують їх часткову депарафінізацію і додають спеціальні присадки

(депресори). Температуру застигання можна знизити введенням депресорної присадки (наприклад, АзНІІІ-ЦІАТІМ-1).

Існують присадки, які дозволяють підвищити цетанове число дизельного палива. До числа таких присадок відносяться хлорпикрин, аміннітрат, перекис ацетилу, перекис ацетону, етилнітрат та ін. Є також присадки, які покращують пускові властивості дизельного палива і знижують температуру його застигання. Найбільш відомим представником таких присадок є етиловий ефір.

З метою додаткового поліпшення процесів згорання, зменшення шкідливих викидів, зниження нагаровідкладення на деталях циліндропоршневої групи і розпилювачах форсунок застосовуються паливні присадки: СП-2, НТ-204У, ВНІІНП-101 (Росія), F-11 (Франція), Перолин-622ДЕ, Dodiflow 3905 (ФРН), Dipetane (Ірландія), Адизоль Т-4 (Росія, Фінляндія) та ін. Досвід їх використання показує, що додавання до 1 % присадки в паливо дозволяє досягти економії дизельного палива до 10 %, понизити викид оксидів вуглецю на 20 % і оксидів азоту на 10...15 %.

Руйнівну дію кислот нейтралізують доданням у дизельне паливо антикорозійних присадок, з яких найефективнішим є нафтенат цинку (0,23...0,3 %). Дизельне паливо з умістом сірки більш як 0,2 % використовують тільки за умови, якщо двигун працює на оливі з антикорозійною присадкою.

Багатофункціональна присадка GASOLINE TREATMENT до бензину рекомендується для використання при обкатці нових двигунів, при роботі двигуна з великими навантаженнями, а також після заміни деталей поршневої групи, клапанів, направляючих втулок та інших. Вона має такі властивості:

- очищує карбюратор від відкладень;
- сприяє підвищенню якості горючої суміші;
- зменшує токсичність відпрацьованих газів;
- зменшує утворення нагару в камері згорання і на клапанах;
- нейтралізує дію води;
- змащує клапани і верхню частину циліндра.

Відомі спеціальні присадки (добавки) для поліпшення певної властивості. Присадка BIG BOOST CETANE LUB K&W KW 5332 (фірма АГА) підвищує цетанове число від 2 до 6 одиниць, залежно від якості дизельного палива, тобто зменшує жорсткість роботи двигуна. Подібна дія присадки OCTANE GAS BOOSTER PRIZE PENN 403405 (фірма АГА). Вона підвищує октанове число бензину на 4...6 одиниць, підтримує бензобак в чистоті, очищує паливну систему. Кисневмісна добавка ТУРБО-ОКТАН 115 підвищує октанове число бензину, усуває детонацію, зменшує токсичні викиди за рахунок ефективного згорання палива. Депресорна добавка до палива DIESEL ANTIFREEZE (фірми BARDAHL) полегшує запуск двигуна при низьких температурах, покращує плинність дизельного палива, знижує температуру точки замерзання палива, покращує фільтрацію і запобігає утворенню відкладень у фільтрах і системах впорскування.

Таку ж дію чинить присадка DRY FUEL+PLUS+ і Аспект-модифікатор, які зв'язують і нейтралізують воду, що запобігає її замерзанню в паливній системі, попереджає корозію, покращує екологічні показники двигуна.

На тепловозах залізниць України широко застосовувалася багатофункціональна присадка палив «Адізоль Т-6» (анамегатор) науково-виробничого підприємства «ADIOZ». Ця депресорна присадка покращує низькотемпературну плинність палива за рахунок дроблення кристалів парафіну на дрібнозернисті частинки. Полегшується так само пуск холодного двигуна за рахунок утворення перекисів у паливі, сприяє повнішому згоранню, зниженню питомої витрати палива.

На сьогодні відомо близько п'ятдесяти типів присадок до палива. Їх світовий асортимент налічує декілька десятків тисяч товарних марок. Частково асортимент присадок, здебільше до дизельного палива, наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 - Асортимент присадок до палив

Тип присадки	Паливо	Концентрація, %	Приклад активного компонента	Призначення
1	2	3	4	5
Модифікатори займання				
<i>Антидетонатори</i>	<i>Бензини</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Металорганічні з'єднання свинцю, заліза і марганцю; органічні сполуки лужних металів</i>	<i>Запобігають передчасному займанню бензину в двигунах з примусовим займанням.</i>
<i>Промотори займання</i>	<i>Дизельні палива</i>	<i>0,05-0,5</i>	<i>Алкілнітрати, алкілперокси</i>	<i>Підвищують цетанове число палив за рахунок створення вільних радикалів, що ініціюють самозаймання</i>
Модифікатори горіння				
Антидимні	Дизельні палива	0,05-0,2	Паливорозчинні з'єднання барію, заліза, марганцю й інших металів	Прискорюють вигорання сажі на останніх стадіях процесу горіння палива. Замінюються на м'які присадки.
Антисажові	Дизельні палива	0,001-0,05	Паливорозчинні з'єднання заліза, міді, цезію й інших металів	Перешкоджають забрудненню фільтрів сажі, що знижує температуру вигорання сажі до температури відпрацьованих газів
Антинагарні	Дизельні палива	0,05-0,1	Термостійкі ПАР у поєднанні з каталізаторами горіння і модифікаторами нагару	Перешкоджають утворенню нагару в камері згорання, запобігають закоксуванню поршневих кілець.

1	2	3	4	5
Ініціатори горіння	Бензини і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР з добавками малих кількостей беззольних промоторів горіння: нітратів, пероксидів	Інтенсифікують процес горіння палива
Стабілізатори				
Стабілізатори комплексного типу	Дизельні палива	0,01-0,05	Композиції антиоксидантів, деактиваторів металів, нейтралізуючих агентів і диспергаторів	Запобігають смоло- і осадотворенню в результаті окислення і інших реакцій ущільнення.
Киснепоглинаючі	Реактивні і дизельні палива	0,01-0,05	Гідразин	Реагують з киснем, розчиненим в паливі, утворюючи неактивні з'єднання.
Диспергуєчі	Реактивні і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР: сульфонати, аліфатичні аміни, сукцініміди, основи Манніха алкілфенолів	Диспергують смолянисті з'єднання, переводять в розчин осади і відкладення, які випали

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
Миючі				
Очисники впускних клапанів (у двигунах інжекторного типу)	Бензини	0,05-0,1	Полібутенаміни, поліефіраміни	Запобігають утворенню відкладень в карбюраторі і на поверхні впускних клапанів двигунів з безпосереднім впрскуванням бензину
Очисники розпилювачів форсунок (у двигунах інжекторного типу)	Дизельні палива	0,05-0,1	Сукцініміди; оксіетильовані алкілфеноли	Запобігають утворенню коксу на розпилювачах форсунок, що зберігає їх оптимальні гідравлічні характеристики
Присадки для експлуатації палив при низьких температурах				
Депресорні	Дизельні і залишкові палива	0,01-0,1	Сополімери олефінів з вінілацетатом; поліакрилати	Запобігають зростанню кристалів парафінів і утворенню просторової структури. Використовуються спільно з диспергаторами парафінів.
Диспергатори парафінів	Дизельні палива	0,01-0,1	Азотвмісні ПАВ різної будови; високомолекулярні полімери	Диспергують парафіни, запобігаючи початку їх кристалоутворення. Забезпечують стабільність дизельних палив в умовах холодного зберігання.
Антиобледенільні	Бензини і дизельні палива	0,01-0,05	ПАР різного складу, зокрема компоненти миючі присадок	Запобігають обмерзанню, паливної апаратури, утворюючи

Противодо-кристиалізуючі	Реактивні і інші види палива	0,5-2,0	Спирти; целозольви	на поверхні захисну плівку. Утворюють низько-замерзаючі суміші з водою, яка розчинена в паливі
Модифікатори тертя				
Протизносні	Бензини, реактивні і дизельні палива	0,01-0,1	Карбонові кислоти і їх похідні, жир	Утворюють на поверхні тертя плівку, що захищає її від зносу
Антифрикційні (паливо-зберігаючі)	Бензини і дизельні палива	0,01-0,05	З'єднання молібдену, ПАР	Підвищують механічний ККД двигуна за рахунок зниження втрат на тертя.
Припрацьовачні	Дизельні палива	0,05-0,2	З'єднання алюмінію, хрому і інших металів, продукти згорання яких мають абразивну і поліруючу дію	Прискорюють обкатку двигунів і паливної апаратури

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
Антикорозійні				
Антиржавіючі (захисні)	Усі види палив	0,005 - 0,05	Похідні алкенілянтарного ангідриду, амідні і комплексні солі сульфокислот.	Зменшують електрохімічну корозію металів на межі розділу баз паливо - повітря, паливо - вода
Антикорозійні (низькотемпературна корозія)	Усі види палив	0,0005 - 0,005	Речовини, що нейтралізують продукти згорання сірчистих з'єднань; ПАР, що перешкоджають попаданню агресивних продуктів на поверхні	Знижують хімічну корозію, що викликана агресивними продуктами згорання палива або продуктами гідролізу компонентів палив і присадок
Модифікатори колоїдно-хімічних властивостей				
Диспергуючі	Залишкові палива	0,05-0,2	Діалкілнафталіни, ПАР різної природи	Запобігають розширенню палива при зберіганні і покращують його розпилювання.
Діемульгатори	Дизельні і залишкові палива	0,005-0,01	Оксетилованні спирти, кислоти й інші ПАР	Прискорюють відділення води від палива. Вимагають відстою.
Загущуючі	Дизельні палива з газових конденсатів	0,05-0,3	Поліметакрилати	Збільшують в'язкість дизельних палив, що отримуються з газових конденсатів, і тим самим покращують їх мастильні властивості

6 Альтернативні види палива

Останнім часом, після декількох енергетичних і економічних криз, у світі посилюється інтерес до пошуку так званих альтернативних видів палива для ДВЗ. При цьому мається на увазі альтернатива саме рідкому нафтовому паливу, запаси якого обмежені і ціна на яке росте швидше за ціни на інші види палива.

На даний час нафта є чи не єдиним джерелом для виробництва моторних палив - близько 50 % добутої нафти іде на зазначені потреби. До того ж транспорт, який працює на нафтовому паливі, є наймасовішим забруднювачем навколишнього середовища викидами відпрацьованих газів (суміші продуктів згоряння та вуглеводів, що не згоріли, та наддувного повітря), шкідливих речовин з систем живлення паливом, змащення та вентиляції картерів двигунів. Економія нафтових палив є актуальною для України ще й тому, що вона є країною-імпортером – близько 11 млн т нафти імпортується.

Саме у такому плані - пошуку використання більш екологічно чистого, дешевого, менш дефіцитного палива — слід розглядати проблему альтернативних видів палива і нових джерел енергії.

Головними вимогами до альтернативних видів палива є такий рівень фізико-хімічних властивостей, який би забезпечив можливість застосування цих палив без суттєвої зміни конструкції двигуна та паливної системи, а також збільшення економічної ефективності та покращення екологічних показників роботи двигуна.

Але у будь-якому разі переобладнання двигунів транспортних засобів на роботу на альтернативних видах палива приведе до певних капітальних витрат, у тому числі на інфраструктуру, але повинне позитивно позначитися на експлуатаційних витратах і екологічних показниках роботи двигунів.

Загальна класифікація альтернативних видів палива наведена на рисунку 2.



Рисунок 2 - Класифікація альтернативних видів палива

Найближчою альтернативою дизельному паливу для тепловозів вважається природний газ, за використанням якого на тепловозах вже отримані позитивні результати. Для транспортних цілей можливо використання природного газу в двох станах: зрідженому і стислому.

Зріджені нафтові гази одержують як побічний продукт при деструктивній переробці нафти (близько 30 % від виходу бензину) і супутнього нафтового газу. Основними компонентами цих газів є пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), їх похідні і суміші в різних пропорціях та природний газ метан (CH_4).

У порівнянні з нафтовим паливом зріджений газ має такі переваги:

- в 1,5...2 рази дешевше;
- більш висока детонаційна стійкість (октанове число ≈ 105), за рахунок чого можна застосовувати більш високі ступені стискання і, як результат, підвищити потужність та економічність двигуна;
- двигун на ньому працює м'якше, ресурс збільшується приблизно в 1,5 рази;
- термін служби моторної оливи зростає в 2...2,5 рази;
- практично не містить сірки, яка викликає корозію деталей і їх знос;
- знижує токсичність відпрацьованих газів (за оксидом вуглецю - в 3...4 рази, за оксидом азоту - в 1,2...2 рази, за вуглеводнем - в 1,3...1,9 рази);
- не накопичує смолянисті відкладення, оскільки нафтовий газ розчиняє їх.

За дослідницьким методом октанове число пропану становить 120, а бутану - 93. Це забезпечує форсування двигунів техніки зі ступенем стиснення до 8,5...9 та дає змогу збільшити їх потужність. Але при переведенні двигуна на зріджений газ потужність падає на 3...4 %.

У 80-ті роки минулого століття були розпочаті роботи з переобладнання дизелів тепловозів до роботи на природному газі, запас якого в зрідженому стані зберігається в спеціальних ізотермічних місткостях завдяки збереженню низької температури (близько мінус 160 °С). Двосекційний тепловоз 2ТЕ116 був оснащений третьою, проміжною криогенною секцією і отримав позначення 2ТЕ116Г (виготовлений Луганським тепловозобудівним заводом). Проте економічні і політичні події не дали можливості завершити ці роботи до кінця.

Нині зріджений газ застосований на газотурбовозі ГТ1 з ГТД потужністю 8300 кВт за замовленням ВАТ РЖД для водіння вантажних потягів підвищеної довжини і маси.

Більший досвід роботи дизелів тепловозів на стислому газі. Науково-дослідні роботи виконувалися у ВНДІЗТ (з поданням стислого газу в повітряний ресивер) і в ХПТі, нині УкрДУЗТ (з поданням стислого газу безпосередньо в камеру згорання дизеля) на маневрових тепловозах ТЕМ 2У. Обидва варіанти дали позитивні результати і Брянський машинобудівний завод освоїв випуск маневрових тепловозів ТЕМ18Г. Муромським заводом

була випущена дослідна партія маневрових тепловозів малої потужності (314 кВт), які оснащені спеціальним візком з двома контейнерами з газовими балонами. У газодобувній промисловості широко використовується газ як паливо для стаціонарних дизелів 11Д100 виробництва заводу ім. В. А. Малишева (м. Харків).

Проходить випробування 2-х секційний маневровий газотурбовоз, оснащений газотурбінним двигуном ГТД 1000 та електричною передачею потужності. Друга секція є тяговим бустером і сховищем стислого природного газу. На бустері встановлено 48 балонів з тиском 25 МПа, що вміщують близько 3000 кг метану, якого вистачає для роботи в маневровому режимі близько семи діб.

Значно ширше природний газ застосовується на автомобільному транспорті. Для автомобільних двигунів за ГОСТ 27578-87 («Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия») випускаються два види палива (таблиця 6):

- ПА - пропан автомобільний, який застосовується взимку при температурі повітря -20 ...-35 °С;
- ПБА - пропан-бутан автомобільний, який застосовують за температури повітря вище -20 °С.

Для використання зріджених газів як моторне паливо достатньо встановити на машину тонкостінний балон (об'ємом до 250 л і робочим тиском 1,57 МПа), змішувач, редуктор-дозатор та паливовипаровувач для випаровування газу. Переобладнаний двигун може також працювати і на бензині (в разі повної витрати газу або в разі важкого запуску двигуна при низьких температурах).

Зріджені гази не мають кольору і запаху, знайти їх витік практично неможливо, тому в ці гази додають спеціальні речовини — одоранти. Найчастіше як одорант застосовують етилмеркаптан (C₂H₅SH), який має різкий неприємний запах.

Таблиця 6 - Характеристики зріджених газів за ГОСТ 27578-87

Показник		ПА	ПБА
Масова частка компонентів, %	пропан	90±10	50±10
	неграничні вуглеводні, не більше	6	6
Надлишковий тиск насичених парів, МПа, при температурі	+45°С, не більше	1,6	1,6
	-20°С, не менше	-	0,07
	-35°С, не менше	0,07	-
Масова частка сірководню, %, не більше		0,003	0,003
Масова частка сірки і сірчистих сполук, %, не більше		0,01	0,01
Вміст вільної води та лугів		відсутні	

Стиснені гази, що використовуються як моторні палива, одержують з родовищ природного газу (стиснений природний газ) і попутних газів нафтових родовищ (стиснений нафтовий газ). Основним компонентом цих газів є метан (СН₄), але є й інші вуглеводні (таблиця 7), а також вуглекислий газ, кисень, азот, водень та ін. Із усіх вуглеводневих газів метан містить максимальну кількість водню на один атом вуглецю і завдяки цьому він має високу теплотворність, достатньо широкі межі займистості та низький вміст токсичних речовин у продуктах згорання.

В експлуатації гази із нафтових і газових родовищ не поділяються і мають загальну назву - стиснений природний газ.

Таблиця 7 - Вміст вуглеводнів у природних газах

Компоненти, %	У відсотках	
	Нафтовий газ	Природний газ
Метан	40...82	82...98
Етан	4...20	до 6
Пропан		до 1,5
Бутан		до 1

Інтенсивне використання стисненого природного газу як моторного палива обумовлено такими його перевагами перед зрідженими нафтовими газами:

- цей газ безпечніший, оскільки він легший за повітря і при вибоках швидко випаровується;
- має меншу вартість;
- більш поширений у природі;
- відпрацьовані гази екологічно більш чисті (зменшення шкідливих речовин у викидах, особливо СО, порівняно із бензиновими двигунами може досягати 90 %).

Стиснений природний газ дозволяє на 35...40 % збільшити моторесурс двигуна за рахунок відсутності на його деталях нагару. За рахунок зменшення забруднення і розрідження подовжується в 2...3 рази термін служби моторної оливи. Висока детонаційна стійкість (октанове число в межах 102...103) забезпечує м'яку роботу двигуна і можливість форсувати двигун за ступенем стискання. За енергетичними параметрами 1 м³ природного газу прирівнюється до 1 л бензину.

Промисловістю виробляються дві марки стисненого природного газу: А і Б, які, згідно з технічними умовами ТУ 51-16.6-83, відрізняються вмістом метану та азоту.

Основний недолік природного газу як моторного палива полягає в меншій (в 1000 разів) об'ємній енергогустині в порівнянні з рідкими нафтовими паливами. Окрім цього, до недоліків природного газу слід віднести:

- виділення в атмосферу метану (природний газ дуже швидко випаровується);

– утруднення з пуском двигуна в холодну пору року, що пояснюється більш високою температурою запалювання і самозаймання природного газу (187 і 517 °С відповідно);

– зниження технічних характеристик двигуна: потужності на 18...20 %, максимальної швидкості на 5...6 %;

– збільшення часу розгону на 24...30 %;

– збільшення трудомісткості обслуговування двигунів на 7...8 %;

– підвищення вимог відносно вибухо- та пожежобезпеки.

Головним недоліком газобалонної апаратури для стиснених газів, що встановлюється на транспортний засіб, є її маса. Балон з легованої сталі місткістю 50 л з газом під тиском 20 МПа важить 62,5 кг, а балон з вуглецевої сталі - 93 кг. Повна заправка восьми балонів, маса яких складає 14 % вантажопідйомності автомобіля, забезпечує 200...280 км пробігу. Зменшити масу балонів можна шляхом застосування легких композитних матеріалів, які в три рази менш в порівнянні зі сталевими.

Недоліком природного газу є його істотно менша величина теплоти згорання на одиницю об'єму в порівнянні з дизельним паливом. У стислому стані при тиску близько 20 МПа (ступінь стискування - 200) теплота згорання природного газу в чотири рази нижча, ніж у дизельного палива. Навіть у зрідженому стані (при температурі -162 °С) об'ємна теплота згорання природного газу складає всього 21 МДж/л проти 39 МДж/л у дизельного палива. Для отримання однієї і тієї ж роботи замість 1 кг дизельного палива необхідно витратити приблизно 3,8 кг природного газу. Ця обставина створює певні труднощі при створенні потужних транспортних засобів на природному газі, збільшуючи масу запасу палива, що перевозиться.

Проте незважаючи на те, що стислий газ, безумовно, дешевше зрідженого і використати його технічно простіше, він не може бути застосований на магістральних локомотивах. Пробіг локомотива на стислому газі обмежується розмірами місткостей для нього. Для того, щоб двигун на стислому газі мав здатність виробити ту ж кількість теплової енергії, що і дизель тепловоза, об'єм газу в резервуарах газотепловоза має бути в п'ять разів, а маса газу в них в чотири рази більше (не рахуючи маси самих резервуарів, що витримують тиск газу 20 МПа). Уявити собі товстостінний балон місткістю 40 м³ на секції тепловоза неможливо. Отже, стислий газ може застосовуватися саме на локомотивах з обмеженим радіусом дії — маневрових, таких як ТЕМ18Г, газові резервуари якого мають ємність 8 м³, або на ще менш потужних промислових. За наявності в депо парку таких газотепловозів потрібні потужні компресорні станції для забезпечення заправки тепловозів за нетривалий час. Робота локомотива на газі не виключає потреби в дизельному паливі, витрата якого може досягати 50 % від загальної витрати.

Таким чином, для магістральних локомотивів з відмічених причин може бути застосований лише зріджений природний газ, при використанні якого виникають проблеми, які пов'язані з експлуатацією криогенної техніки,

складнощами організації екіпіровки газотепловозів паливом, що має температуру мінус 160...170 °С.

Необхідність задоволення зростаючих потреб в енергії у поєднанні з дефіцитом найбільш ефективних видів моторного палива (нафти і газу) призводить у всьому світі до відродження широкого використання *кам'яного вугілля в енергетиці*.

Запаси кам'яного вугілля на земній кулі ще досить великі. Вони перевищують на порядок запаси нафти і газу. Вважають, що кам'яного вугілля людству вистачить ще на 150...200 років, тому, природно, потрібна оцінка можливостей використання цього виду палива для тяги потягів не лише за допомогою електричної енергії, виробленої на теплових електростанціях, але і безпосередньо на автономних локомотивах.

Процес отримання палива з вугілля відбувається в дві стадії:

– спочатку вугілля або смолу розтирають з важкими оливами до утворення пасту, а потім гідрують під тиском 25...70 МПа в присутності каталізатора - заліза;

– одержану пасту переганяють, а фракції з температурою кипіння понад 325 °С знову піддають гідрогенізації (гідруванню), що полягає в приєднанні водню до хімічних елементів або сполучень під впливом каталізатора (металів, оксидів). Залежно від умов проведення процесу продуктами переробки можуть бути тільки бензин або бензин, дизельне паливо і мазут.

Синтетичне рідке паливо для ДВЗ отримують синтезом із суміші водню й оксиду вуглецю, які виробляють з нафтових речовин, природних газів і вугілля. В результаті цього одержують бензин, високоякісне дизельне паливо і парафін. Синтезують також високоякісні компоненти палив (наприклад, ізооктан, алкілбензол), що підвищують антидетонаційні властивості.

Рідке синтетичне паливо отримують також із смол, які утворюються при напівкоксуванні вугілля, торфу і сланців. Отримана смола за своїм складом нагадує нафту і використовується для вироблення синтетичного рідкого палива і мастильних олив. Отримання рідкого палива із смоли робиться її перегонкою з подальшим крекінгом важких залишків. Фракції при перегонці смоли піддають очищенню, після якого виходить товарна продукція.

Великим резервом рідкого палива є *бітумінозні дрібно- і крупнозернисті кварцові піски і піщаники*. За вмістом бітумів вони підрозділяються на три групи. Вміст бітумів у першій групі - більше 10 % (за масою), в другій - від 4 до 10 %, в третій - не більше 4 %.

Але виробництво 1 т синтетичного палива потребує від 3 до 6 т вугілля, тому це паливо поки що в 1,5...2 рази дорожче за бензин і практично не застосовується.

У зв'язку з достатнім розвитком газових двигунів внутрішнього згорання, у тому числі і на основі робіт із застосування природного газу на тепловозах, у більшості випадків спроби і способи використання кам'яного

вугілля на локомотивах цих типів (тепловозах і газотурбовозах) ґрунтуються на газифікації твердого палива і спалюванні генерованого газу в локомотивних енергетичних установках, пристосованих для цього. По мірі розробленості і реальності здійснення найбільш очевидні з цих способів можна розглянути в наступній послідовності.

Газогенераторні тепловози. Цей тип автономного локомотива на твердому паливі був би найбільш реальний і доступний для здійснення і використання на залізницях країни практично сьогодні ж, оскільки є досвід створення таких тепловозів і експлуатації їх на залізницях СРСР і КНР майже 70 років тому — в 1950-х роках. Ефективність використання вугілля на газогенераторних тепловозах була помітно вище, ніж на паровозах того часу.

Проте газифікація вугілля на транспортних газогенераторах відбувається менш ефективно, ніж це можливо в стаціонарних умовах, де ККК процесу може досягати 80 %. Теплота згорання газу, що отримується в результаті газифікації вугілля, або точніше, об'ємна теплота згорання робочої суміші при однаковому коефіцієнті надлишку повітря, виявляється нижче, ніж у звичайного дизельного палива. В результаті для отримання рівноцінної тягової потужності локомотива потрібно значне збільшення робочого об'єму двигуна (числа або розмірів циліндрів). Вартість такого тепловоза буде на 25...30 % вище, ніж традиційного дизельного тієї же потужності. Вартість експлуатації таких локомотивів також буде вище, оскільки для них потрібно додаткові екіпірувальні пристрої і операції при їх обслуговуванні: зберігання і попередня підготовка вугілля, його завантаження, очищення і видалення шлаку, які раніше були притаманні паровозній тязі.

Велике значення має і екологічний бік процесу. У складі вугілля міститься більше інертних і шкідливих домішок, тому при їх спалюванні збільшується забруднення атмосфери оксидами сірки.

Газотурбінна локомотивна установка на твердому паливі може бути здійснена двома шляхами: на генераторному газі, тобто з газогенератором і пилоподібним вугільним опалюванням.

Перша схема (газогенераторний газотурбовоз) аналогічна розглянутій вище схемі газогенераторного тепловоза з усіма її недоліками. Оскільки газотурбінні установки використовують на локомотивах великої потужності, то в цьому випадку потрібен і газогенератор більшої продуктивності. Сферою можливого застосування такого газогенераторного локомотива може бути швидкісний пасажирський рух на неелектрифікованих лініях.

Друга схема вимагає попередньої підготовки пилоподібного вугілля в стаціонарних умовах або на самому локомотиві. Принципово ця схема можлива, але вона не бездоганна в екологічному відношенні - вона пов'язана з концентрованим викидом так званої «леткої золи». Робота турбіни на пилоподібному паливі неминуче пов'язана з інтенсивним абразивним зносом її соплового апарату і лопаток.

Незважаючи на усі мінуси, не виключено, що цей шлях зниження споживання дизельного палива і природного газу може бути затребуваний в майбутньому.

Паросилові енергетичні установки. Оскільки застосування твердого палива на локомотивах розглядається як варіант альтернативи рідкому паливу, то періодично виникають пропозиції про «повернення до паровоза», тобто про використання для локомотивів паросилової енергетичної установки на сучасному технічному рівні.

Для можливості ефективного використання паросилової енергетичної установки в ролі ЛЕУ автономного локомотиву потрібне рішення цілого ряду складних технічних завдань на сучасному рівні науки та техніки:

- застосування багатоциліндрової парової машини (із загальним валом для усіх циліндрів — за типом колінчастого валу ДВЗ);
- двоступінчате розширення пари з проміжним її підігріванням;
- застосування парової турбіни замість парової машини (паротурбовоз);
- спалювання вугільного пилу в «киплячому» шарі при температурі близько 850 °С за типом нових стаціонарних парогенераторів;
- двоступінчате спалювання вугілля в топці парового котла (газифікація в шарі при нестачі повітря і подальше спалювання газової суміші).

Розглядаються можливості зменшення споживання води (за рахунок конденсації пари в тендері-конденсаторі за типом створеного в передвоєнні роки для паровозів СО).

Як видно з огляду, нині вже є значний науково-технічний заділ для можливості створення сучасних автономних локомотивів на твердому паливі. Проте реальні потреби у використанні цих розробок виникнуть, мабуть, не скоро.

Без зміни конструкції двигуна застосовується *газоконденсатне паливо*, яке є сумішшю легкокиплячих нафтових вуглеводнів, що знаходяться у природі в підземних пластах в газоподібному стані під тиском 4,9...9,8 МПа при температурі 150 °С. При охолодженні і зниженні тиску до атмосферного (в умовах земної поверхні) суміш розпадається на рідку (конденсат) і газову складові.

Усі газові конденсати складаються в основному з нафтових і парафінових вуглеводнів і майже не містять ароматичних вуглеводнів. Вони мають низьку детонаційну стійкість і в основному використовуються як дизельне паливо марок ГШЗ і ГШЛ (таблиця 8).

Таблиця 10 - Показники якості дизельних та газоконденсатних палив

Показник		Дизельне паливо за ДСТУ 3868-99		Газовий конденсат	
		Л	З	ГШЛ	ГШЗ
Цетанове число, не менше		45	45	42	40
Фракційний склад, °С	t _{50%} , не більше	280	280	260	260
	t _{96%} , не більше	370	370	360	340
Кінематична в'язкість при 20°С, мм ² /с		3,0...6,0	1,8...6,0	2,0	1,45

Температура помутніння, °С, не більше	-5	-15	-5	-25
Температура застигання, °С, не більше	-10	-25	-15	-35
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не менше / не більше (для дизелів загального призначення)	40/-	35/-	-15	-12

ГШЗ - газоконденсатне широкофракційне паливо, яке одержують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з дизельним паливом, використовують при температурі навколишнього середовища -35 °С і вище.

ГШЛ - одержують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з товарними дизельними паливами, застосовують при температурах навколишнього середовища вище -5 °С.

Газоконденсатні палива мають цетанове число менше, ніж у звичайного дизельного палива. Це призводить до великої затримки самозаймання та зменшення подачі палива і, як результат, до зниження потужності двигуна орієнтовно на 7 %. Відповідне регулювання паливної апаратури дозволить уникнути цієї проблеми, а також витримати на належному рівні економічність та ефективність роботи дизеля й навіть поліпшити його динамічні показники.

Крім перерахованих альтернативних видів палива для ДВЗ є багато перспективних видів — спирти (метанол, етанол), ефіри, біопаливо, водень, вода як домішка до палива, енергія розщеплення атома.

Спирти. Разом з газовими моторними паливами як альтернативне паливо найбільш широко використовуються спиртні палива, які являють собою низькомолекулярні спирти - *метанол, етанол*, або так звані оксигенатні палива, що містять у своєму складі разом з вуглеводневим паливом (бензином, дизельним паливом) різні кількості кисневмісних добавок (спиртів та ефірів).

З великого числа аліфатичних спиртів як моторні палива знайшли застосування тільки метанол і етанол, виробництво яких має значні обсяги виробництва - десятки мільйонів тонн. Вони мають високі антидетонаційні властивості (ОЧ близько 100), знижений вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах, можливість виробництва з альтернативних джерел сировини.

Метанол - метиловий або деревний спирт, для виробництва якого сировиною служать природний газ, нафтові залишки, а останнім часом і вугілля, відходи лісового господарства, біомаса та міські відходи. Енергетичний коефіцієнт корисної дії виробництва метанолу з вугілля становить приблизно 45...50 %, що трохи вище, ніж при виробництві дизельного палива і бензину (40 %). При виробництві метанолу із деревини цей коефіцієнт знаходиться в межах 42...50 %, а з природного газу - 60...70 %.

Етанол - етиловий або винний спирт, який виробляється із злаків, картоплі, цукрової тростини та ін., застосовується як в суміші з бензином, так і в чистому вигляді.

Серед основних *недоліків спиртів як моторних палив* слід виділити такі, як знижена теплота згорання в порівнянні з вуглеводневими паливами; низька енергощільність, що збільшує у два рази питому витрату; утруднений пуск холодного двигуна; висока корозійна агресивність (особливо на гумотехнічні і пластикові деталі устаткування і двигунів); потрібна істотна модернізація системи подачі палива.

Високі антидетонаційні властивості спиртів визначають їх переважне використання у ДВЗ з примусовим (іскровим) запаленням. Використання спиртів у дизельних двигунах утруднене через низькі цетанові числа (3...8), високу температуру самозаймання (в 1,5...2 рази вище, ніж у дизельного палива) і низькі мастильні властивості, що призводить до підвищеного зносу паливних насосів.

Тому в даний час все більш широке застосування знаходять так звані *сумішеві палива*, наприклад, застосування суміші із 15 % метанолу та 85 % бензину (призначається як М15) дає позитивні результати.

На даний час застосування спиртів як рідких палив для ДВЗ обмежене через високу їх вартість та невирішені питання з токсичністю (особливо метанолу), великі витрати харчових продуктів при виробництві етанолу (винного спирту).

Ефіри належать до оксигенатних палив, тобто продуктів, у склад яких входить кисень. І хоча до складу розглянутих вище спиртів також входить кисень, термін "оксигенатні" вперше був застосований саме до палив, які містять у своєму складі прості ефіри.

Широке застосування як моторні палива отримали такі ефіри, як *метилтретбутиловий (МТБЕ)* - застосовується як добавка до бензинів, та *диметиловий ефір (ДМЕ)* - застосовується як добавка до дизельного палива або його повний замітник.

При додаванні МТБЕ у бензин підвищується октанове число, поліпшуються пускові якості, потужність та економічність двигуна; зменшується знос деталей та утворення на них нагару і лакових відкладень; стабілізуються властивості моторної оливи; знижується токсичність ВГ (приблизно на 10 %). В таблиці 9 наведені характеристики для перспективних палив.

Таблиця 9 - Порівняльна характеристика бензину та перспективних палив

Показник		Бензин	Метанол	Етанол	МТБЕ
Октанове число	за дослідницьким методом	80...98	114	111	117
	за моторним методом	76...88	95	94	100
Кінематична в'язкість при 20°C, мм ² /с		0,65	0,55	1,76	0,75
Густина за 20°C, кг/м ³		700	800	790	750

Температура, °С	кипіння	35...195	65	78	51...62
	кристалізації	-60	-98	-115	-105
	самозаймання	255...370	464	423	421
	займання	-27...-39	8	13	11
Тиск насичених парів за 20°С, кПа		66,5...93	12,1	5,6	58,4
Границі займання об'ємні, %		0,8...5,2	5,5...36	4,3...19	-
Масова частка кисню, %		-	49,9	34,7	18,2
Теплота згоряння, кДж/г·моль		254	238	278	-
Розчинність у воді, %		0,0008	Повна	Повна	14,3

Що стосується застосування диметилового ефіру (ДМЕ), то, на думку експертів, у даний час він є одним з найперспективніших палив для дизельних двигунів. Перспективність цього дизельного палива визначається двома основними обставинами:

- сировиною для виробництва ДМЕ є природний газ;
- високими експлуатаційними й екологічними властивостями.

Серед позитивних експлуатаційних якостей ДМЕ (таблиця 10) необхідно відзначити таке:

- високе цетанове число (55...60 од.);
- відсутність сірки в ДМЕ вирішує проблему вмісту оксидів сірки у відпрацьованих газах;
- наявність у молекулі ДМЕ атому кисню забезпечує повноту згоряння ДМЕ, що забезпечує практичну відсутність у камері згоряння нагару і частинок сажі у відпрацьованих газах;
- зниження температури горіння палива в камері згоряння і, як наслідок, зниження вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах;
- стійка робота двигуна на всіх режимах, включаючи режим пуску та холостого ходу без втрати потужності та економічності (в енергетичному еквіваленті).

Таблиця 10 - Фізико-хімічні властивості палив для дизельних двигунів

Показник		Нафтове дизельне паливо	ДМЕ
Молярна маса		148,6	46,07
Вміст сірки, ppm*		нижче 500	нижче 5
Масова частка ароматичних вуглеводнів, %		25	відсутні
Масова частка кисню, %		сліди	34,7
Тиск насичених парів за 38°С, кПа		0,69	800
Температура, °С	кипіння	180...370	-24,8
	самозаймання	220	235
Теплота згоряння, МДж/кг		42,5	24,8
Цетанове число		40...55	55...60
Кінематична в'язкість при 40°С, мм ² /с		2,0...3,5	0,25

Густина при 15°C, кг/л	0,8...0,84	0,6612
*ppm (part per million) - частин на мільйон		

Найістотнішими недоліками ДМЕ як дизельного палива є в 1,5 разу менша теплота згорання, що приведе до збільшення витрати ДМЕ в 1,5... 1,6 разу в порівнянні з дизельним паливом. Недоліками ДМЕ є також низька кінематична в'язкість (в 20...30 разів менша ніж, у дизельного палива) і дуже погані мастильні властивості. Певні складнощі при упродовженні ДМЕ пов'язані з його низькою температурою кипіння (мінус 24,8 °С), що приведе до необхідності створення інфраструктури для зберігання ДМЕ на складах депо, заправлення, зберігання в баці тепловоза та ін. Вирішення зазначених проблем зробить ДМЕ досить перспективним для застосування як заміник дизельного палива.

Біопаливами (біологічними паливами) називають моторні палива, які одержують з відновлюваних, в основному рослинних джерел, сировини. Етиловий спирт (гідролізний і харчовий), отриманий з рослинної сировини, також часто називають біоетанолом. Окрім біоетанолу, з відновлюваних джерел сировини в промисловому масштабі виробляють біодизельне паливо і так зване паливо Р-series.

Для вироблення біодизельного палива можуть використовуватися різні олійні культури (соя, соняшник, рапс і т.п.), а також відходи виробництва яловичого й інших тваринних жирів. Найбільш часто для виробництва біодизельного палива використовують рапсову олію, яка виробляється з насіння рапсу. Однак рапсові або соєві олії — це ще не біодизельне паливо. *Біодизельне паливо - це моноалкілові ефіри* довголанцюгових жирних кислот, що одержують з рослинної олії або тваринного жиру. Будь-які жири є ефірами довголанцюгових жирних кислот і гліцерину, який за своєю хімічною природою є триатомним спиртом. Це означає, що гліцерин у жирах можна замінювати трьома молекулами метилового спирту (метанолу або етилового спирту). Саме цей ефір метанолу (або етанолу) і довголанцюгових жирних кислот є біодизельним паливом, а процес хімічного заміщення в жирах гліцерину спиртами називається переетерифікацією.

Рослинні оливи (пальмова, соєва, соняшникова, рапсова та ін.) алкілірують та отримують моноефіри відповідних кислот. Поширеним паливом цього типу є, наприклад, рапсовий метиловий ефір (РМЕ), який використовується у Швеції, ФРН, Франції та інших країнах. Його додають до дизельного палива в концентрації до 30 % без додаткового регулювання двигуна. У західноєвропейських країнах прийнято рішення про обов'язкове додавання РМЕ в дизельне паливо.

Біодизельне паливо може застосовуватися на транспортних двигунах у чистому вигляді і як добавка до нафтового дизельного палива. Основні фізико-хімічні й експлуатаційні властивості біодизельного палива і його суміші з нафтовим дизельним паливом наведені в таблиці 11.

Крім зниженої температури затвердіння (а це важливо для зимових погодних умов України), біодизельне паливо, як моторне паливо, має ряд

цінних якостей. Його застосування істотно подовжує час життя двигуна, оскільки таке паливо має кращу мастильну здатність, ніж паливо з нафти. При цьому на 90 % знижується ризик ракових захворювань. За рахунок того, що біодизельне паливо містить 11 % кисню, кількість вуглекислого газу зменшується на 80 %, чадного газу — на 35 %, оксидів сірки — на 100 %, аерозолів — на 32 %, що має першорядне значення для поліпшення екологічної ситуації. Але треба враховувати, що біодизельне паливо виробляється з олійних культур, які є також цінними харчовими продуктами. Тому неможливо повністю перевести ДВЗ для роботи на біодизельне паливо.

Таблиця 11 - Властивості біодизельного палива і його сумішей з нафтовим дизельним паливом

Показники	Нафтове дизельне паливо	Біодизельне паливо	Суміш нафтового та біодизельного палива, %			
			5	20	30	50
Густина при 15°C, кг/м ³	828	88А	833	840	848	858
Цетановий індекс	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51
Найнижча теплота згоряння, МДж/л	35,5	32,9	35,3	35,0	34,7	34,2
В'язкість при 40°C, мм ² /с	2,2...2,9	4,5	2,4	2,6	2,7	3,1
Температура спалаху, °C	73	188	75	76	78	83

Палива P-series, які розроблені в Принстонському університеті (США), є сумішшю етанолу, метилтетрагідрофурану (МТГФ), вуглеводнів C5+; в зимові сорти вводиться н-бутан.

Октанові числа палив P-series залежно від складу знаходяться в діапазоні 87...93 одиниці. За екологічними властивостями вони набагато перевершують нафтові бензини за вмістом [CH], CO і NO_x у відпрацьованих газах, вони також менш шкідливі для людини.

Для отримання палив P-series може використовуватися дешева відновлювана сировина - сільськогосподарські, деревні і паперові відходи. Один літр палива P-series еквівалентний одному літру звичайного бензину.

Водень. Донедавна водень розглядався лише як потенційне ефективне паливо. Проте постійно з'являються повідомлення про розробки експериментальних моделей автомобілів та інших транспортних засобів, що працюють на рідкому водні. Технологію використання водню як палива для автомобілів можна вважати повністю відпрацьованою.

Ще на початку 80-х років у колишньому СРСР був випробуваний дослідний автомобіль (РАФ-2203), в кузові якого були встановлені баки з рідким воднем. Аналогічні випробування, включаючи створення дослідного зразка на автівці ГАЗ-24 «Волга», виконані в ІПМаш НАН України (м. Харків).

Інтерес до водню, як моторного палива, обумовлений такими властивостями:

– при згорянні водню у двигуні утворюється практично тільки вода, і в цьому відношенні двигун на водневому паливі є найбільш екологічно чистим;

– високі енергетичні властивості водню - 1 кг водню еквівалентний майже 4,5 кг бензину (теплотворна здатність водню 120 МДж/кг, а бензину 44 МДж/кг) тобто в 2,7 рази нижче;

– практично необмежена сировинна база за умови отримання водню з води (за допомогою електролізу);

– при достатньому збідненні суміші можлива бездетонаційна робота водневого двигуна в широкому діапазоні ступенів стиснення;

– відсутність вуглецю у водневому паливі призводить до того, що у відпрацьованих газах практично відсутні оксиди вуглецю (CO і CO₂) і незгорілі вуглеводні, а оксидів азоту дуже мало;

– суміш водень-повітря запалюється за наявності водню від 4 до 74 % і горить при температурі вище 500 °С з утворенням парів води.

Основні недоліки водневого палива:

– пожежо- і вибухонебезпека - суміш водню з повітрям утворює гримучий газ, тому потрібна повна герметичність, у тому числі і при заправці;

– навіть у рідкому стані він займає об'єм у 3,5 разу більший, ніж еквівалентна кількість бензину. Необхідна також надійна теплоізоляція баків, оскільки температура зрідженого азоту становить -253 °С й для його зберігання необхідна криогенна температура нижче -120 °С;

– викид оксидів азоту за рахунок більш високої температури горіння водно-повітряної суміші удвічі перевищує викид оксидів азоту бензинового двигуна, але при збідненні суміші кількість цих оксидів різко знижується, а при досягненні коефіцієнта надлишку повітря 1,8 вони зовсім відсутні;

– при роботі стандартного двигуна на водні його потужність знижується на 15...20 %.

Широкий діапазон займання водно-повітряної суміші – 14...74 % та вибухонебезпечності – 18,3...74 % створюють проблеми при використанні водню. Але висока температура займання (590 °С) і швидке розсіювання в атмосфері дозволяють прирівняти водень за ступенем пожежо- та вибухонебезпечності до природного газу.

Незважаючи на зазначені недоліки, водень є найбільш перспективним паливом взагалі і для двигуна внутрішнього згорання зокрема. На сьогодні водень використовується як добавка до рідких палив для збагачення їх висококалорійним компонентом. При цьому двигун не потребує ніяких змін. Встановлено, що на режимі холостого ходу на 100 км пробігу автомобіля замість 12,2 кг бензину витрачається всього 5,5 кг бензину і 1,8 кг водню. Отже, 1,8 кг водню замінює 6,7 кг бензину, тобто 1,8 кг водню дає змогу зекономити 50...55 % бензину.

Слід ураховувати, що вартість водневого палива не вища, ніж інших видів синтетичного палива. При цьому концентрація оксиду вуглецю у відпрацьованих газах знижується в 13 разів, оксидів азоту — в п'ять разів,

вуглеводнів — на 30 %, якщо вводити водень в горючу суміш на режимах холостого ходу, малих та середніх навантажень. Передчасне запалювання і жорсткості згоряння водно-повітряних сумішей можливо усунути впорскуванням водню безпосередньо в камеру згоряння.

Висока температура самозаймання водно-повітряної суміші утруднює використання водню як паливо для дизельних двигунів. Стійке займання може бути забезпечене або примусовим підпалом від свічки або організацією роботи двигуна в газодизельному режимі, коли запалювання виникає за рахунок невеликої кількості дизельного палива, що подається в циліндр разом із воднем.

Технічні труднощі при використанні і висока вартість водню привели до того, що надається увага розробленню комбінованого палива бензин-водень.

Перспективним способом зберігання водню на борту транспортного засобу є *металогідридні акумулятори*. Виділення водню із балонів, заповнених гідридом, забезпечується їх підігріванням рідиною із системи охолодження двигуна або вихлопними газами. Гідридні акумулятори можна заряджати та розряджати декілька тисяч циклів без втрати енергоємності. У разі аварії та руйнування зовнішньої оболонки ємності для зберігання частина водню швидко випаровується, викликаючи тим самим охолодження акумулятора і зупинку виділення водню. Гідридний акумулятор водню набагато безпечніший за бак із бензином.

З огляду перспектив застосування водневої енергетики в майбутньому найважливішими є економічні фактори. В цьому відношенні водень як енергоносіє не має конкурентів. Сировинні ресурси для одержання водню необмежені: його можна одержати з біомаси у результаті газування вугілля, часткового окиснення вуглеводневого палива, застосовуючи сонячне випромінювання, а також у результаті електролізу води. Але для здобуття водню потрібна велика кількість енергії. Собівартість цих методів, у перерахунку на енергетичну одиницю, у 2...10 разів вища, ніж одержання природного горючого газу.

Можливість використання водню в локомотивній тязі здається досить віддаленою. Але в принципі це можуть бути тепловози з дизелем на рідкому водневому паливі - це ті ж газотепловози з криогенною системою зберігання зрідженого газу.

З метою економії бензину та раціональнішого використання низькооктанових бензинів останнім часом активно ведуться роботи щодо використання *води як домішки до палива*.

Механізм дії води на робочий процес у ДВЗ вивчений не повністю, але вважається, що при додаванні води підвищується октанове число палива, зростає потужність і економічність роботи. Деякі фахівці вважають, що вода є не тільки каталізатором, а й безпосередньо бере участь у процесі горіння суміші.

Вода може подаватися безпосереднім впорскуванням у циліндри або впускну систему двигуна, а також у вигляді водобензинової емульсії (ВБЕ),

приготовленої раніше. Використання ВБЕ пов'язане з рішенням низки практичних завдань:

- створенням водобензинової емульсії;
- розробкою ефективних ПАР;
- створенням раціональної системи виготовлення і використання водобензинової емульсії в депо.

Практика показала, що через підвищену в'язкість ВБЕ до її складу поки що можна вводити не більш як 10 % води.

Незважаючи на перелічені недоліки, практика показує, що при роботі двигуна на ВБЕ з умістом 10...30 % води питома витрата бензину знижується на 12...22 % при повних навантаженнях і на 7... 10 % - при середніх. Крім того, приблизно в 2...6 разів знижується вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигуна.

У дизелях можна також використовувати обводнене дизельне паливо - водопаливну емульсію (ВПЕ), що характеризується вищою фізичною стабільністю, ніж ВБЕ, і для її приготування потрібно значно менше ПАР.

В разі використання в дизелях ВПЕ питому витрату палива можна знизити на 2...6 %. Димність відпрацьованих газів при цьому зменшується завдяки впливу водяних парів на процес газифікації вуглецю (сажі).

У далекому майбутньому можливе застосування енергії ділення ядер атомів, наприклад урану, при якому виділяється теплова енергія для створення наземних транспортних засобів з ядерною силовою установкою (ЯСУ).

Фахівці вважають, що розвиток атомної енергетики - необхідний шлях виходу з енергетичної безвиході, пов'язаного з неминучим збільшенням дефіцитності природного органічного палива - нафти і газу. Інша точка зору, яка не має наукового обґрунтування, але поширена серед населення, наполягає на тому, що безпека АЕС не може бути гарантована.

Інтерес до локомотивів з ядерною силовою установкою (ЯСУ) виник ще в 60-х роках минулого століття, коли було розроблено, у тому числі і в СРСР, декілька різних проектів. Таких локомотивів і сьогодні у світі ще немає, але опрацювання проектів виконуються, і у наш час і на найсучаснішому рівні.

Принцип дії локомотива з ЯСУ не відрізняється від принципу дії усіх автономних локомотивів. Ядерна силова установка — атомний реактор — є тепловим генератором, тобто джерелом теплової енергії, яка виділяється в процесі ланцюгової реакції ділення (розпаду) атомів ядерного палива. За допомогою теплоносія ця енергія передається в теплообмінник робочому тілу, яке в якомусь тепловому двигуні, у свою чергу, перетворить свою теплову енергію в механічну роботу, яку далі можна використати для створення сили тяги.

Проте, виконані в США розрахунки показали, що локомотив такого типу не може мати очевидних техніко-економічних переваг в порівнянні із звичайним тепловозом - скорочення витрат на паливо в експлуатації перекиватиметься в приведених витратах значно більшою вартістю самого

локомотива і збільшенням витрат на його обслуговування. Приблизно такі ж якості мав би тепловоз з дизелем, переобладнаний на водневе паливо.

7 Правила поводження з паливом

Пари дизельного палива шкідливі для здоров'я людини, вони також вогненебезпечні та вибухонебезпечні. Тому при зливів, зберіганні і застосуванні палива і оливи обслуговуючий персонал локомотивних депо і складів палива повинен завжди дотримуватися правил особистої та протипожежної безпеки. Працівники, які контактують з дизельним паливом, повинні знати, що дизельне паливо має отруйні властивості. Вдихання парів дизельного палива, потрапляння їх усередину організму можуть викликати важке отруєння.

Недбале поводження з дизельним паливом може привести до захворювання шкірного покриву (дерматити, екзема).

Локомотивні і ремонтні бригади повинні постійно стежити за герметичністю паливної та оливної систем.

Паливо, масло та інші забруднення, що з'явилися у відсіках дизеля тепловоза, слід видаляти за допомогою шприців або інших пристосувань.

Для захисту шкіри від шкідливої дії дизельного палива і оливи рекомендується перед роботою і після неї змащувати руки мазями (ланоліном, вазеліном, пастою «біологічні перчатки» та ін.).

Слід пам'ятати, що займання дизельного палива при зберіганні і застосуванні може відбутися не тільки від відкритого вогню, але також і при нагріванні до певних температур. При терті дизельного палива об метали, гуму і тканини можуть виникнути заряди статичної електрики. Електризація палива може відбуватися при ударі струменя палива по твердій поверхні при наливанні в резервуар, коли струмінь падає з великої висоти і розбивається на дрібні краплі, а також під час проходження палива по трубопроводах, рукавах та ін.

Якщо бак або резервуар не заземлений, може зібратися статична електрика, здатна при замиканні дати іскру, достатню для запалення парів дизельного палива.

Для усунення пожеж і вибухів на нафтоскладах і тепловозах необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки:

а) паливозаправні пристосування і ті місця, де може накопичуватись статична електрика, необхідно заземлювати;

б) забороняється застосовувати відкритий вогонь, палити на заправних пунктах, в дизельному приміщенні, а також запалювати сірники, факел, користуватися газовим ліхтарем біля паливних баків, в дизельному приміщенні і нафтохранилищах;

в) обтиральні матеріали, просочені паливом, слід зберігати в спеціальних залізних ящиках;

г) забороняється відгвинчувати пробки паливних баків ударами молотка, зубила, так як це може викликати утворення іскор. При

необхідності для цього можна користуватися мідними або обмідненими ключами.

Питання для модульного контролю

- 1 Які переваги та недоліки дизельних двигунів порівняно з бензиновими?
- 2 Які вимоги ставляться до дизельного палива?
- 3 Що таке цетанове число дизельного палива, його значення та вплив на роботу двигуна?
- 4 Що таке жорсткість роботи дизельного двигуна?
- 5 Засоби визначення цетанового числа та його підвищення.
- 6 Від яких показників властивостей дизельного палива і як саме залежить прокачування палива?
- 7 Надайте перелік властивостей дизельного палива та їхню характеристику.
- 8 Якими показниками характеризуються низькотемпературні властивості дизельного палива та як його поліпшити в умовах експлуатації?
- 9 Як впливає фракційний склад дизельного палива на роботу та зношування деталей двигуна, витрати палива й оливи, а також на відпрацьовані гази?
- 10 Вплив сірки та сірчаних сполучень на роботу двигуна, нагаровідкладення та зношування деталей циліндропоршневої групи.
- 11 Назвіть асортимент і маркування дизельного палива.
- 12 Назвіть асортимент і маркування зарубіжного дизельного палива.
- 13 Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-Л-Євро5-В5.
- 14 Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-З-Євро4-В0.
- 15 Від чого залежать смоловідкладення та нагароутворення у двигуні й які методи їх зниження?
- 16 Назвіть марки палива важкого фракційного складу та завод-виробник.
- 17 Склад нагару й якими властивостями палива його оцінюють?
- 18 Назвіть фази створення нагароутворення.
- 19 Призначення та види присадок до моторних палив.
- 20 Що називається альтернативним паливом? Які основні види альтернативних палив?
- 21 У чому полягають особливості використання газоподібного палива?
- 22 Як класифікується газоподібне паливо?
- 23 Назвіть переваги та недоліки газоподібного палива.
- 24 Які основні компоненти стисненого природного газу?
- 25 Які переваги та недоліки стиснених природних газів як палива для ДВЗ?
- 26 Які основні компоненти зріджених газів?
- 27 Які марки палив із зріджених газів?
- 28 Як зберігається зріджений газ на борту транспортного засобу?
- 29 Які переваги та недоліки застосування зрідженого газу як палива для ДВЗ?

- 30 Які основні напрямки переведення тепловозних ДВЗ на стиснений та зріджений природний газ?
- 31 Наведіть приклади застосування газоподібного палива на залізничному транспорті.
- 32 Що таке газовий конденсат і де він застосовується?
- 33 Які марки газоконденсатного палива випускаються промисловістю?
- 34 Які особливості застосування газового конденсату як палива для ДВЗ?
- 35 Які види палива належать до перспективних?
- 36 Які переваги та недоліки спиртів як палива для ДВЗ?
- 37 З якої сировини отримують промисловим способом метанол і етанол?
- 38 Яке октанове число мають метанол та етанол?
- 39 Як впливає додавання спиртів у дизельне паливо на його властивості?
- 40 Що являє собою метилтребутиловий ефір?
- 41 Які позитивні результати додавання МТБЕ до бензинів?
- 42 Які позитивні якості диметилового ефіру як альтернативного дизельного палива?
- 43 У чому полягають недоліки диметилового ефіру, які обмежують його використання?
- 44 Що служить речовиною для одержання біодизельного палива?
- 45 Які позитивні результати застосування біодизельного палива?
- 46 Які перспективи біодизельного палива в Україні?
- 47 Що таке паливо P-series?
- 48 Застосування водню як моторного палива, його переваги та недоліки?
- 49 Назвіть сировинні ресурси для одержання водню.
- 50 Який сучасний промисловий спосіб одержання водню?
- 51 Як зберігають водень на транспортних засобах?
- 52 Які переваги зберігання водню в складі металогідридів?
- 53 На яких режимах роботи двигуна доцільно застосовувати водень?
- 54 Як впливає застосування водню на зменшення шкідливості відпрацьованих газів?
- 55 Які перспективи використання водню як палива?
- 56 Застосування води як домішки до палива. Що таке ВБЕ та ВПЕ?
- 57 Назвіть засоби отримання синтетичного рідкого палива для ДВЗ з кам'яного вугілля, торфу, сланців та битумінозних пісків.
- 58 Перспективи застосування газогенераторних, газотурбінних, паросилових установок на локомотивах.
- 59 Назвіть основні правила поводження з паливом та вплив на працівників локомотивних депо.
- 60 У чому зберігають палива на складах локомотивного господарства?

Список літератури

- 1 Мурзин, Л.Г. Топливо, вода, смазка [Текст] / Л.Г. Мурзин, В.М. Гончаров. - М.: Транспорт, 1981. -253 с.
- 2 Меркурьев, Г.Д. Локомотивным бригадам о топливе и смазочных материалах [Текст] / Г.Д. Меркурьев. - М.: Транспорт, 1988. - 125 с.
- 3 Аржанухин, Г.В. Эксплуатационные материалы: топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст]: Учеб. пособие / Г.В. Аржанухин. - М.: МГИУ, 2006. - 83 с.
- 4 Васильев, В. Диметиловый эфир. Надежды конструкторов, водителей и экологов [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://os1.ru/article/5472-dimetiloviy-efir-nadejdy-konstruktorov-voditeley-i-ekologov/> - (Дата обращения 20.09.2016).
- 5 Данилов, А.М. Применение присадок в топливах [Текст]/ А.М. Данилов. - М.: Мир, 2005.-288 с.
- 6 Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы [Текст]: учебник / А.В. Кузнецов. - М.: КолосС, 2007. - 198 с.
- 7 Полянський, С.К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин [Текст]: підручник / С.К.Полянський. - К.: Либідь, 2005. - 504 с.
- 8 Стрелко, В. Биодизель - актуальная идея столетней давности [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://www.biodisel.com.ua/category//> - (Дата обращения 15.03.2016).
- 9 Стуканов, В.А. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст]: учеб. пособие. Лабораторный практикум / В.А. Стуканов. - М.:ИД "Форум": ИНФРА-М, 2006. - 208 с.
- 10 Итинская, Н.И. Топливо, масла и технические жидкости [Текст]: справочник / Н.И. Итинская, Н.А. Кузнецов. - М.: ВО Агропромиздат, 1989. - 304 с.
- 11 Автомобильные эксплуатационные материалы зарубежного производства [Электронный ресурс]. - Режим доступа http://vtk34.narod.ru/shevireva_avtmatzarub/intex/htm. - (Дата обращения 15.03.2016).
- 12 Капустин, В.М. Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками [Текст] / В. М. Капустин. - М.: КолосС, 2008. – 232 с.
- 13 Бойченко, С.В. Хімотологія [Текст]: навч. посібник / С.В. Бойченко [та ін.]. - К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. - 160 с.
- 14 Звонов, В.А. Метанол как топливо транспортных двигателей [Текст]/ В. А. Звонов, В. И. Черных, В. К. Балакин. - Харьков: Основа, 1990. – 154 с.
- 15 Кравець, А.М. Альтернативні види палива для двигунів внутрішнього згоряння [Текст]: конспект лекцій / А. М. Кравець. - Харків: УкрДАЗТ, 2010. - 29 с.

Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін

Хімотологія дизельних палив.
Альтернативні види палива

Конспект лекцій з дисципліни

«Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства»

Відповідальний за випуск М.В. Максимов

Редактор _____

Підписано до друку _____

Формат паперу 60x84 1/16 Папір писальний
Умовн. друк. арк. Тираж____ Замовлення_____

Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного транспорту
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №2874 від 12.06.2007 р.

Український державний університет залізничного транспорту

Механічний факультет

Кафедра «Експлуатація та ремонт рухомого складу»

Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін

Хімотологія дизельних палив.

Альтернативні види палива

Конспект лекцій з дисципліни

«Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства»

Харків 2016

Жалкін Д.С., Жалкін С.Г. Хімотологія дизельних палив. Альтернативні види палива: Конспект лекцій. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. - 42 с.

У даному конспекті лекцій наведено матеріали, що стосуються хімотології дизельних палив. Крім загальних властивостей дизельних палив та вимог до його якості й умов застосування, розглянуто причини жорсткої роботи дизельних двигунів, поняття цетанового числа. Надано способи регулювання цетанового числа, метод його визначення і розрахунку.

В стислій формі розглянуто вплив деяких показників палива – густини, в'язкості, низькотемпературних властивостей (температур помутніння, застигання), фракційного складу, у т.ч. вмісту сірки та сірчаних сполучень та інших - на повноту згоряння палива, його витрату, склад відпрацьованих газів, процес парафінізації. Надані характеристики, асортимент та умовне позначення дизельних палив, що застосовуються, як вітчизняних, так і зарубіжних.

Окремо розглянуто питання нагароутворення та смоловідкладення, їх склад та умови утворення. Наведена інформація щодо застосування присадок та добавок до палива, надано асортимент та призначення добавок.

Розглянуто проблему можливості та доцільності застосування альтернативних палив, таких як природні та інші гази, спирти, ефіри, біопалива, водень та ін. Наведено матеріали щодо їх практичного застосування, проаналізовано позитивні та негативні наслідки для ДВЗ та навколишнього середовища.

Рекомендується студентам, що навчаються за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» та вивчають курс «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства».

Іл. 2, табл. 10, бібліогр.: 15 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 21 березня 2016 р., протокол № 27.

Рецензент
проф. О. Б. Бабанін

ЗМІСТ

1 Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості	4
2 Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив	12
3 Асортимент зарубіжних дизельних палив	19
4 Смоло- і нагароутворення у ДВЗ	20
5 Поліпшення якості нафтових палив	24
6 Альтернативні види палива	32
7 Правила поводження з паливом	53
Питання для модульного контролю	55
Список літератури	58

1 Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості

Дизельне паливо являє собою гасовогазойлеві фракції переробки нафти з температурами кипіння від 200 до 350 °С. Це прозора, більш в'язка порівняно з бензином, рідина від жовтого до світло-коричневого кольору. Його забарвлення залежить від концентрації смол.

Дизельне паливо – це горюча рідина; температурні границі займання — від 57 до 119 °С, а температура самозаймання – 300...250 °С.

У дизелях, на відміну від карбюраторних двигунів, не застосовують іскрове запалення, і паливно-повітряна суміш запалюється внаслідок самозаймання при стискуванні. Тому для дизелів доцільно використати паливо з порівняно низькою температурою самозаймання.

Дизельне паливо порівняно з бензином має істотний недолік – набагато обмежена сировинна база. Дизельне паливо виробляють переважно прямою перегонкою й каталітичним крекінгом із наступним очищенням. При цьому при прямій перегонці вихід бензину 10...15 %, дизельного палива 15...20 %; каталітичним крекінгом добувають бензину 40-50 %, дизельного палива 10...15 % від кількості переробленої нафти. Крім того, бензин виробляють не лише з нафти, а й із газів, вугілля, важких нафтопродуктів, у тому числі дизельного палива. Перехід автівок, сільгосптехніки та будівельно-дорожніх машин на дизелі також призводить до дефіциту дизельного палива.

Дизельне паливо повинне відповідати таким вимогам:

- мати оптимальні щільність, поверхнєве натягнення, випаровуваність і самозаймистість;
- зберігати текучість при низьких температурах;
- бути хімічно і фізично стабільними;
- мати мінімальну корозійну дію;
- не містити води і механічних домішок, сірчаних з'єднань, водорозчинних кислот і лугів;
- мати тонке розпилювання та хороше сумішоутворення й згоряння;
- повне згоряння без утворення диму, щоб двигун легко запускався й м'яко працював;

- якнайменше утворення нагару на клапанах, кільцях, поршнях і відкладень у зоні розпилювачів форсунки й у камері згоряння.

Від якості палива залежить надійність роботи двигуна і, як наслідок, витрати на його обслуговування та ремонт і, зрештою, собівартість експлуатації локомотива.

Цетанове число дизельного палива визначається відсотковим складом (за об'ємом) цетану в еталонному паливі, що має однакове самозаймання з досліджуваним паливом.

Схильність цетану до самозаймання умовно оцінюється у 100 одиниць, а альфаметилнафталіну - в нуль.

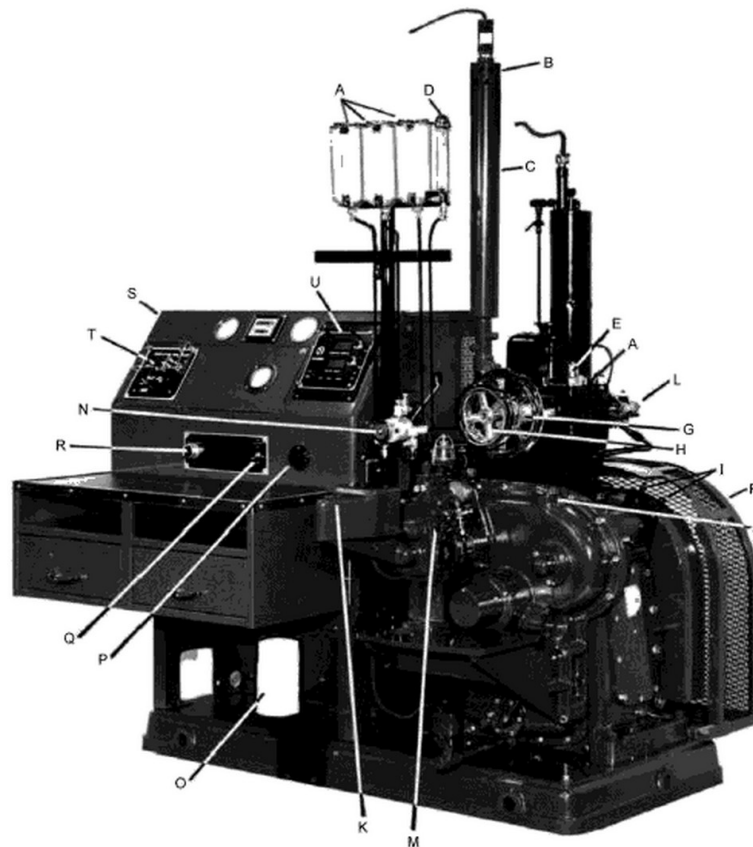
Альфаметилнафталін ($C_{10}H_7CH_3$) - це чистий вуглеводень, ароматичного ряду, характеризується найбільшим періодом затримки та високою температурою самозаймання. Звідси різко збільшується тиск на 1 град. ОКВ і жорстка робота двигуна.

Цетан ($C_{16}H_{34}$) - це чистий вуглеводень парафінового ряду, для якого характерними є найшвидший розпад й окиснення у стисненому повітрі під впливом температури та тиску. Він має найменший період затримки самозаймання, що забезпечує м'яку роботу двигуна.

При змішуванні цетану з альфаметилнафталіном у різних співвідношеннях одержують низку еталонного палива з різною схильністю до самозаймання. Чим більше цетану в суміші, тим вища її схильність до самозаймання.

Для визначення самозаймання дизельного палива треба підібрати такий склад суміші цетану й альфаметилнафталіну, який був би рівнозначний за температурою самозаймання досліджуваному паливу.

Цетанове число можна визначити за збігом спалахів, затриманням самозаймання і за критичною мірою стискування. Зазвичай цетанове число визначають за методом збігу спалахів, використовуючи для цього одноциліндрову установку WAUKESHA CFR-F5U (ИТ9-3М), яка працює за принципом самозаймання палива від стискування. Конструкція установки забезпечує зміну міри стискування в межах 7...23 (рисунк 1).



А – паливні баки; В – кожух нагрівача повітря; С – глушник повітрязабірника; D – бюретка вимірювання витрати палива; Е – датчик займання; F – захисний кожух; G – ручний маховик плунжера змінного ступеня стиснення; H – стопорне колесо маховика плунжера змінного ступеня стиснення; I – датчики маховика; J – кришка масляного фільтра; K – соленоїд аварійного вимкнення паливного насоса; L – форсунка; M – паливний насос; N – селекторний кран перемикач паливних баків; O – оливний фільтр; P – регулятор нагрівача моторної оливи; Q – перемикач нагрівача повітря; R – панель запуску-зупинки двигуна; S – приладова панель; T – регулятор температури повітря, що подається; U – подвійний цифровий вимірювач цетанового числа

Рисунок 1 – Установа для визначення цетанового числа

Випробування проводять таким чином. Запускають двигун установки і задають йому стандартний режим роботи. Потім двигун переводять на випробовуване паливо. Кут випередження впорскування встановлюють рівним 13° до приходу поршня у ВМТ. Потім зміною міри стискування домагаються початку самозаймання палива строго у ВМТ. Після цього в тих же умовах

переводять двигун на суміш цетану і α -метилнафталіну, або ізооктану, підбираючи такий її склад, щоб вона при знайденій мірі стискування також займалася строго у ВМТ. Тоді відсотковий вміст цетану в цій суміші і показує цетанове число випробовуваного палива.

Цетанове число випробовуваного палива CN_s ,

$$CN_s = CN_{LRF} + \left(\frac{HW_s - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}} \right) \cdot (CN_{HRF} - CN_{LRF}), \quad (1)$$

де CN_{LRF} – цетанове число низькоцетанового еталонного палива;

CN_{HRF} – цетанове число високоцетанового еталонного палива;

HW_s – показання для зразка;

HW_{LRF} – показання для низькоцетанового еталонного палива;

HW_{HRF} – показання для високоцетанового еталонного палива.

Цетанове число палива можна підвищити двома способами: регулюванням вуглеводневого складу палива або введенням спеціальних присадок.

Перший спосіб ґрунтується на тому, що гемологічні ряди вуглеводнів за ознаками зниження цетанового і підвищення октанового чисел розміщуються в одному й тому самому порядку: нормальні парафіни – ізопарафіни – нафтени – ароматичні вуглеводні. Отже, цетанове число можна значно підвищити, збільшуючи відсоток різних нормальних парафінів і знижуючи — ароматичних.

Другий спосіб ґрунтується на введенні кисневмісних добавок (органічні пероксида, складні ефіри, спирти тощо). Введення в паливо всього 1 % присадок дає змогу підвищити цетанове число на 8...12 одиниць.

Процес сумішоутворення та згоряння палива у дизелі значною мірою залежить від конструкції камери згоряння і характеризується періодом затримки самозаймання — часом від моменту впорскування суміші в циліндр дизеля до її займання. Паливо в циліндрі двигуна займається не відразу, а через деякий час, який називається *періодом затримки самозаймання*. У разі великої затримки самозаймання паливоповітряної суміші в циліндрі дизеля накопичується і відразу згоряє велика частина

палива. Це спричиняє різке наростання тиску на кожний градус оберту колінчастого вала. При цьому спостерігається жорстка робота двигуна. *Жорсткість роботи дизеля*, що характеризується швидкістю збільшення тиску залежно від кута ОКВ, пов'язана із затримкою самозаймання палива. Її оцінюють за збільшення тиску на 1 град ОКВ. Вважається, що *двигун працює м'яко* за збільшення тиску до 0,25...0,50 МПа на 1 град ОКВ, *жорстко* — за 0,6...0,9 МПа і *дуже жорстко*, коли тиск перевищує 0,9 МПа (такий режим може призвести до швидкого виходу двигуна з ладу).

Зовнішні ознаки жорсткої роботи двигуна ідентичні детонаційному згорянню бензину в бензинових двигунах, тобто прослуховується характерний металічний стук від дії ударної хвилі на поршень двигуна. Такт стиску в дизелі супроводжується вібрацією та перегріванням двигуна. Крім того, збільшуються витрати палива й оливо, а також димність і токсичність відпрацьованих газів. При збільшенні ступеня стиску зменшується час затримки самозаймання палива, знижуються швидкість зростання тиску, питома витрата палива, робота дизеля стає повільною та м'якою і поліпшуються пускові якості. Проте процес залежить не тільки від конструктивних особливостей дизельного двигуна, а й від властивостей самого палива.

Прокачування палива, робота паливного насоса, зношування прецизійних пар і форсунок, для яких паливо одночасно є й *мастилом*, тонкість розпилення та повнота згорання палива, його витрати, склад відпрацьованих газів великою мірою залежать від в'язкості дизельного палива, його низькотемпературних властивостей, наявності механічних домішок і води.

В'язучі властивості. Вони характеризуються густиною, в'язкістю та поверхневим натягом палива.

За *густиною* дизельні палива різняться мало (коливання при 20 °С не виходить за межу 830...860 кг/м³).

Поверхневий натяг при 20 °С становить 25...30 нМ/м³. Однак за в'язкістю та іншими властивостями марки дизельного палива можуть мати великі розбіжності.

В'язкість дизельного палива дуже залежить від температури, тому коли говорять про в'язкість, то обов'язково зазначають, за якої температури вона визначалась. Із підвищенням температури

в'язкість дизельного палива зменшується і навпаки. В'язкість дизельного палива приблизно в п'ять разів вища від бензину.

В'язкість дизельних палив зазвичай нормується при температурі 20°C. При підвищенні температури в'язкість зменшується незначно. При зниженні температури до негативних значень в'язкість істотно зростає (таблиця 1).

Таблиця 1 – Залежність в'язкості дизельного палива від температури

Паливо дизельне	Кінематична в'язкість, мм ² /с, при температурі °С			
	+20	0	-10	-20
літнє	6,36	12,94	20,59	50,92
зимове	4,26	8,36	12,43	20,60

При значних значеннях в'язкості опір настільки зростає, що порушується нормальна подача палива і робота паливного насоса. Тому з метою попередження парафінування паливних фільтрів та значного зростання в'язкості всі тепловози обладнують паливопідігрівачами, які вмикають при зниженні температури повітря до 10 °С і нижче, тобто обмежують в'язкість в межах 6...8 мм²/с. З метою попередження зниження циклової подачі, збільшення внутрішніх витоків у насосах та форсунках, зниження тиску впорскування нижня межа в'язкості обмежується на рівні 1,5...1,8 мм²/с при температурі 20 °С.

Важливими показниками дизельного палива є його низькотемпературні властивості – температури помутніння та застигання.

Температурою помутніння називають температуру, при якій втрачається фазова однорідність палива. На вигляд воно стає мутним. При температурі 0 °С відбувається утворення кристалів льоду. Якщо паливо починає мутніти при нижчій або при більш високій температурі, то це відбувається за рахунок виділення з нього твердих парафінових вуглеводнів.

Паливо втрачає свою прозорість, мутніє також внаслідок виділення мікроскопічних кристалів льоду (у паливі завжди є гігроскопічна вода) й, основне, твердих вуглеводнів. З помутнінням паливо не втрачає рухливості. Кристали мають такі розміри, що проходять крізь елементи фільтрів грубої очистки,

але можуть частково або повністю закупорити пори фільтрів тонкої очистки і порушити подачу палива до насосів і форсунок.

Температура застигання дизельного палива практично значення не має у зв'язку з тим, що його подача припиняється вже за температури помутніння палива. Нормальна робота дизеля можлива за умови, коли температура застигання палива на 5...10 °С нижча, ніж температура навколишнього повітря, або коли вона на 3...5 °С нижча від температури його помутніння.

Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива з нього (при виготовленні) видаляють парафін, додають присадки, що зменшують температуру кристалізації, полегшують фракційний склад і зменшують його в'язкість.

Процес видалення парафіну з палива, який дістав назву *депарафінізації*, полягає у виморожуванні з нього парафіну – дуже складний та знижує цетанове число палива. Тому депарафінізацію використовують тільки для виготовлення арктичних сортів дизельного палива.

Простіший і дешевший спосіб поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива полягає у застосуванні депресорних присадок, які зменшують температуру його застигання на 10...15 °С, але температура помутніння палива при цьому майже не змінюється.

Фракційний склад дизельного палива. Для нормальної роботи дизеля велике значення має утворення рівномірної паливно-повітряної суміші в циліндрі двигуна, для чого важлива не лише якість розпилювання палива форсункою, але і швидкість його випару.

Випаровуваність дизельного палива характеризується його фракційним складом. Велике значення має швидкість випару. Проте значне переважання в паливі легких фракцій негативно позначається на процесі згорання, викликає жорстку роботу.

Паливо, що складається з важких фракцій, повільніше випаровується, не повністю згорає (димний випуск), забруднює двигун відкладеннями нагару й закоксує розпилювачі форсунки. Таким чином, для двигунів тепловозів потрібне дизельне паливо деякого середнього фракційного складу, у якого немає легких і важких фракцій, що дають неповне згорання.

Показники такі, як коксовність, зольність, кислотність, механічні домішки, наявність води, наявність сірки мають таку дію, як і в бензині, і мають регламентовані величини. Наприклад, дизельне паливо, що застосовується у двигунах тепловозів, має мінімальну схильність до утворення коксу, а зольність допускається в межах не більше 0,02 %; допустима кислотність палива – не вище 5мг КОН на 100 мл. Недопустима також наявність в паливі води, оскільки вона викликає корозію паливної апаратури.

Нині дизельне паливо виготовляють в основному з нафти, що містить багато сірчаних сполук (запаси малосірчаних нафт обмежені). При перегонці нафти одержують газойлеві та солярові дистиляти з вмістом сірки до 1,0...1,3 %. Багато сірки є і в дизельному паливі. Тому його корозійна дія оцінюється наявністю в ньому сірки та кислотністю.

Уміст сірки та сірчаних сполук у дизельному паливі в 4...10 разів більший, ніж у бензинах, що спричинює інтенсивне зношування циліндропоршневої групи. В сучасному дизельному паливі за різними стандартами вміст сірки нормується від 0,05 до 1,0 %.

Дизельне паливо із сумарним вмістом сірки не більше як 0,2 % не ускладнює роботу двигуна, тому його можна використовувати без обмежень. Однак, при переробці сірчаних нафт цю норму витримати не вдається, тому допускається випуск палива з вмістом сірки до 0,5 %.

Відомо, що підвищення вмісту сірки в дизельному паливі з 0,2 до 0,6 % призводить до збільшення зношування гільз циліндрів і поршневих кілець у середньому на 15 %, а до 1 % — у 1,5 рази. Ступінь впливу сірчаної корозії на двигуни різних конструкцій залежить від їхньої теплонапруженості.

Щільність дизельного палива коливається в межах 830... 880 кг/м³ і її величину вписують в маршрут машиніста при наборі палива. Це необхідно тому, що питомі показники витрати палива нормуються у кілограмах віднесених до десяти тисяч тонокілометрів брутто (кг/10⁴ ткм брутто), кілограмах віднесених до кіловатгодин (кг/кВт·год), а витрати при екіпіруванні підраховуються у літрах (дм³).

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, дістав назву *йодного числа*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число не має перевищувати 6 г на 100 г палива. Чим більше йодне число, тим більше олефінів міститься в паливі і тим гірше воно за якістю. Олефіни при зберіганні та транспортуванні окислюються з виділенням смол, які порушують систему живлення і збільшують нагароутворення.

2 Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив

Основними виробниками українського дизельного палива є Кременчуцький НПЗ і Шебелинський ГПЗ. Ввезення дизельного палива для продажу на українському ринку здійснюється головним чином з Білорусії, Польщі, Росії, Литви, а також з країн Чорноморського та Середземноморського регіонів (Румунії, Болгарії).

Якість дизельного палива відповідає стандартам – ДСТУ 3868-99, ДСТУ 4840:2007 і ДСТУ 7688:2015. ДСТУ 7688:2015 «Дизельне паливо Євро. Технічні умови» введено в дію з 01.01.2016 р. Цей стандарт скасовує з 01.07.2016 р. дію усіх попередніх стандартів та технічних умов.

Нафтопереробні заводи України виробляють за ДСТУ 3868-99 дизельне паливо двох марок:

Л (літнє) - для експлуатації дизелів за температури навколишнього повітря не нижче -5°C ; З (зимове) - для експлуатації за температури не нижче -15°C (таблиця 2).

За вмістом сірки дизельні палива поділяються на чотири види:

- I - масова частка сірки не більше як 0,05 %, (500 мг/кг);
- II - масова частка сірки не більше як 0,10 %, (1000 мг/кг);
- III - масова частка сірки не більше як 0,2 %, (2000 мг/кг);
- IV - масова частка сірки не більше як 0,5%, (5000 мг/кг).

Таблиця 2 – Характеристики дизельних палив за ДСТУ 3868-99

Показник	Норма для палива марки	
	Л	3
Цетанове число, не менше	45	45
Фракційний склад: 50 % палива переганяється за температури, °С, не вище	280	280
96 % палива переганяється за температури, °С, не вище	370	370
Кінематична в'язкість за температури 20°С, мм ² /с, в межах	3...5	1,8...6,0
Температура застигання, °С, не вище	-10	-25
Температура займання в закритому тиглі, °С, не нижче, для:		
тепловозних, суднових дизелів і газових турбін	62	40
дизелів загального призначення	40	35
Масова частка сірки, %, не більше, в паливі виду:		
I	0,05	0,05
II	0,10	0,10
III	0,20	0,20
IV	0,50	0,50
Масова частка меркаптанової сірки, %, не більше	0,01	0,01
Вміст сірководню	Відсутній	
Випробування на мідній пластинці	Витримує	
Концентрація фактичних смол, мг на 100 см ³ палива, не більше	40	30
Кислотність, мг КОН на 100 см ³ палива, не більше	5	5
Йодне число, г йоду на 100 г палива, не більше	6	6
Зольність, %, не більше	0,01	0,01
Коксівність 10 %-го залишку, %, не більше	0,30	0,30
Коефіцієнт фільтрації, не більше	3	3
Гранична температура фільтрації, °С, не вище	-5	-15
Вміст механічних домішок	Відсутній	
Вміст води	«	
Густина за температури 20°С, кг/м ³ , не більше	860	840

Приклади умовного позначення палив за ДСТУ 3868-99:

«Паливо дизельне Л-0,1-40 ДСТУ 3868-99» означає, що це літнє паливо з масовою часткою сірки 0,1 % і температурою займання 40 °С.

«Паливо дизельне З-0,1(-25) ДСТУ 3868-99» означає, що це зимове паливо з масовою часткою сірки 0,1 % і температурою застигання -25 °С.

Дизельне паливо за ДСТУ 4840:2007 екологічного класу Євро 4 відповідає загальним технічним вимогам, встановленим у європейських стандартах EN 590:2009. За вмістом сірки дизельні палива ділять на два види:

I - вміст сірки не більше ніж 10 мг/кг, (0,001 %);

II - вміст сірки не більше ніж 50 мг/кг, (0,005 %).

Залежно від умов використання встановлюють такі марки та класи дизельного палива:

а) для експлуатування в умовах помірного клімату:

марка А - гранична температура фільтрованості не вище ніж 5 °С;

марка В - гранична температура фільтрованості не вище ніж 0 °С;

марка С - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 5 °С;

марка D - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 10 °С;

марка Е - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 15 °С;

марка F - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 20 °С.

б) для експлуатування в умовах арктичного клімату:

клас 0 - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 20 °С;

клас 1 - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 26 °С.

Умовна позначка дизельного палива охоплює його марку або клас залежно від граничної температури фільтрованості. Приклад позначки:

- для помірного клімату «Паливо дизельне підвищеної якості (Євро) марки С виду I згідно з [ДСТУ 4840:2007](#)»;

- для арктичного клімату «Паливо дизельне підвищеної якості (Євро) класу 1 виду II згідно з [ДСТУ 4840:2007](#)».

Дизельне паливо за ДСТУ 7688:2015 екологічного класу Євро 5 відповідає загальним технічним вимогам, встановленим у європейських стандартах EN 590:2013.

За кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива:

Л - літнє, що використовують за температури повітря не нижче ніж 5 °С;

З - зимове, що використовують за температури повітря від 5 °С до мінус 20 °С;

Арк - арктичне, що використовують за температури повітря нижче ніж мінус 20 °С.

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи дизельного палива: Євро3, Євро4, Євро5.

За фізико-хімічними та експлуатаційними показниками паливо повинне відповідати вимогам, зазначеним в таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристики дизельних палив за ДСТУ 7688:2015

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арк	
1	2	3	4	5
1 Цетанове число, не менше	51	49	48	Згідно з ГОСТ 3122, ДСТУ ISO 5165 та ДСТУ-Н 7622, або ASTM D 613, або EN 15195, або EN 16144
2 Цетановий індекс, не менше	46,0			Згідно з ДСТУ ISO 4264 або ГОСТ 27768, або ASTM D 4737
3 Густина за температури 15 °С, кг/м ³ , у межах	820-845	800-845	800-840	Згідно з ДСТУ EN ISO 3675, або ДСТУ ISO 12185, ДСТУ ГОСТ 31072, або ASTM D 1298, або ASTM D 4052

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
4 Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше: Євро5 Євро4 Євро3		8 11 11		Згідно з ДСТУ EN 12916 або EN 12916
5 Вміст сірки, мг/кг, не більше: Євро5 Євро4 Євро3		10 50 350		Згідно з ДСТУ ISO 20846, або ДСТУ ISO 20846, або EN ISO 20884, або EN ISO 13032
6 Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче: Євро5 Євро4 Євро3		55 55 40		Згідно з ДСТУ ISO 2719, або ГОСТ 6356, або ASTM D 93, або EN ISO 2719
7 Коксованість 10-відсоткового залишку, % (мас.), не більше		0,30		Згідно ДСТУ EN ISO 10370, або ГОСТ 19932, або ГОСТ 8852, або ASTM D 189, або ASTM D 524, або EN ISO 10370
8 Зольність, % (мас.), не більше		0,01		Згідно ДСТУ EN ISO 6245, або ГОСТ 1461, або ASTM D 482
9 Масова частка води %, (мг/кг), не більше		0,02 (200)		Згідно з ДСТУ ISO 12937, або ГОСТ 2477
10 Масова частка домішок, мг/кг, не більше		24		Згідно з ДСТУ EN 12662, або ГОСТ 6370
11 Корозія мідної пластинки (3 год за температури 50 °С) клас, не більше		1		Згідно з ДСТУ EN ISO 2160, або ГОСТ 6321, або ASTM D 130

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
12 Окиснювальна стабільність, - г/м ³ , не більше або - год, не менше		25 20		Згідно з ДСТУ ISO 12205, або ДСТУ 7684, або ASTM D 2274, або EN 15751
13 Змащувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60 °С, мкм, не більше		460		Згідно з ДСТУ ISO 12156-1
14 Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с, у межах	2,00-4,5	1,5-4,0	1,5-4,0	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33, або ASTM D 445, або EN ISO 3104
15 Фракційний склад: - за температури 250 °С випаровується, % (об.), не більше - за температури 350 °С випаровується, % (об.), не менше - 95 % (об.) переганяється за температури, °С, не вище		65 85 360		Згідно з ГОСТ 2177 (метод А), або ДСТУ ISO 3924, або ASTM D 86, або EN ISO 3405
16 Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот, %, - для дизельних палив В0 - для дизельних палив В5 - для дизельних палив В7		0 не більше 5		Згідно з ДСТУ EN 14078, або EN 14078
				понад 5 та не більше 7

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
17 Гранична температура фільтрованості, °С, не вище	-5	-20	-30	Згідно з ДСТУ EN 116, або ГОСТ 22254, або EN 16329
18 Температура помутніння, °С, не вище	-	-	-20	Згідно з ГОСТ 5066 (метод Б), або ДСТУ ISO 3015, або ASTM D 2500
19 Вміст марганцю, мг/дм ³ , не більш	-	-	2,0	Згідно з EN 16576

Умовна позначка дизельного палива містить:

- літери ДП (позначення дизельного палива);
- літерне позначення марки (Л, З, Арк);
- символ екологічного класу (Євро3, Євро4, Євро5);
- символ визначення вмісту (об'ємної частки) метилових/етилових естерів жирних кислот (В0 - у разі їх відсутності; В5 - не більше ніж 5 %; В7 - понад 5 % та не більше ніж 7 %).

Приклад позначки дизельного палива літнього екологічного класу Євро4 з вмістом метилових/етилових естерів жирних кислот понад 5 % та не більше ніж 7 %:

«Паливо дизельне ДП-Л-Євро4-В7 згідно з ДСТУ 7688:2015».

Позначка палива може містити торгову марку (товарний знак) виробника.

Приклад позначки дизельного палива торгової марки «XXX» арктичного екологічного класу Євро3 без вмісту метилових/етилових естерів жирних кислот:

«Паливо дизельне XXX-ДП-Арк-Євро3-В0 згідно з ДСТУ 7688:2015».

3 Асортимент зарубіжних дизельних палив

Європейський стандарт EN 590 діє в країнах ЄЕС з 1996 р. Стандарт передбачає випуск дизельних палив для різних кліматичних регіонів.

Для районів з помірним кліматом, згідно зі стандартом EN 590, виробляють шість марок дизельного палива: А, В, С, Д, Е і F з граничною температурою фільтрування, °С, відповідно 5; 0; -5; -10; -15 і -20.

Для районів з холодним кліматом цим самим стандартом передбачено випуск п'яти класів дизельного палива з такими низькотемпературними властивостями:

Клас	0	1	2	3	4
Температура, °С, не вище:					
помутніння	-10	-16	-22	-28	-34
граничної фільтрації	-20	-26	-32	-36	-44

У таблиці 4 показана відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва.

Таблиця 4 – Відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва

Паливо за ГОСТ 305-82	Зарубіжне паливо		
	Марка	Специфікація	Країна
<i>Л</i>	№3	JIS 2204-83	Японія
	2 D	ASTM 975-83	США
3	<i>TIPA</i>	CAN 2-3.6-M-83	Канада
	<i>Special</i>	JIS 2204-83	Японія
	<i>ID</i>	ASTM 975-81	США
A	<i>TIPA A</i>	CAN 2-3.6-M-83	Канада

4 Смоло- і нагароутворення у ДВЗ

Накопичення смол і нагару на деталях двигуна залежить від конструктивних особливостей системи живлення і камери згорання, режиму роботи двигуна, а головне — від якості застосованих палив і мастильних олій.

У бензинах, як і у будь-яких нафтопродуктах, майже завжди в розчиненому стані знаходяться смолянисті і смолоутворюючі речовини. Кількість їх залежить від хімічного складу, способу отримання і якості очищення бензину. З часом, а також під дією кисню, повітря і підвищеної температури в паливі відбуваються зміни: збільшується кількість смолянистих речовин.

Смолоутворення в нагрітому бензині та на світлі відбувається швидше, ніж у холодному і в темряві. Тому бензини треба зберігати в герметичній тарі за якомога нижчої температури (краще в підземних сховищах).

Наявність у бензині води, міді, а також свинцю сприяє смолоутворенню, тобто вони є каталізаторами. Особливо швидко смоли утворюються в баках машин при тривалому зберіганні, а також влітку під дією підвищених температур.

Мінеральні кислоти й інші водорозчинні кислі сполуки дуже впливають як на чорні, так і на кольорові метали, а луги — лише на кольорові. У свіжому бензині майже не повинно бути мінеральних кислот і лугів, тобто паливо має бути нейтральним. Однак із часом кислотність бензину збільшується.

Наявність активних сірчистих сполук у паливі виявляють випробуванням на мідну пластинку, яку після ретельного очищення витримують в паливі протягом 3 год за температури 50 ± 2 °С. Максимальна кількість сірки в автомобільних бензинах — не більш як 0,1 %, в останніх — 0,05, оскільки з її підвищенням зношування деталей двигуна різко зростає. Наявність у паливі сірчаних сполук (особливо дисульфідів та меркаптанів) погіршує його стабільність і сприяє смолоутворенню.

Про наявність смол у паливі можна судити візуально за його кольором. Чим більше у паливі смол, тим інтенсивніше його забарвлення (колір бензину набуває темно-коричневих тонів). Наявність смол у паливі є великою небезпекою для двигуна. Під час роботи смоли відкладаються у карбюраторі,

а також трубопроводах, порушуючи подачу палива, що призводить до нагароутворення і зупинки двигуна. Нагар утворюється на поверхнях клапанів, зумовлюючи їх пригоряння.

Зі збільшенням кількості смол у бензині знижується, як правило, його октанове число та зростає кислотність, що спричинює значну ерозію металу.

Смоли, що знаходяться у бензині в теперішню мить, називають *фактичними*. Їх кількість визначають випарюванням бензину за певних умов. Вміст фактичних смол нормується в міліграмах на 100 мл бензину. Для різних марок бензину кількість смол знаходиться в межах 2...15 мг на 100 мл.

Смоли, накопичуючись у бензині, осідають в паливних баках, на стінках бензопроводів, в карбюраторі, зменшують прохідні перерізи отворів жиклерів, що калібруються, порушуючи нормальну роботу системи живлення. При утворенні горючої суміші важкі вуглеводні палива не випаровуються повністю, а залишаються у вигляді конденсату. Тім більше не можуть випаруватися смолянисті з'єднання, які мають велику молекулярну масу. Ці з'єднання відкладаються на стінках всмоктуючого колектора і клапанах. Особливо небезпечне накопичення смол на направляючих втулках випускних клапанів, що викликає їх зависання і пригорання та порушення робочого процесу двигуна. Найбільш інтенсивне накопичення смол відбувається на гарячих стінках трубопроводів, де смолисті речовини поступово ущільнюються і утворюють тверді нагаровідкладення, які зменшують площу перерізу трубопроводу, викликаючи тим самим зниження потужності і економічності двигуна. Відкладення нагару на поверхні камери згорання може служити причиною замкнення електродів свічки.

Дизельне паливо, що містить значну кількість смолянистих з'єднань, не в змозі повністю згоріти, що сприяє накопиченню нагару.

Нагаровідкладення накопичуються на клапанах і голівці поршня, в камері згорання, на соплах форсунок і у вихлопній

системі. Вони викликають швидкий знос деталей циліндропоршневої групи, пригорання поршневих кілець і клапанів, погіршення розпилу палива, знижують, а іноді і припиняють його подання в циліндр двигуна. При підвищенні нагаровідкладень погіршується відведення теплоти та відпрацьованих газів, що призводить до перегрівання двигуна і падіння його потужності.

До складу нагару входять вуглецеві продукти (92...96 %) - кокс, смолянисті речовини, олія і негорюча частина (4...6 %) - кремній, залізо, свинець та ін. В нагарі можуть бути наявними сірка (при роботі двигуна на сірчистому паливі), а також інші речовини, що потрапляють в камеру згорання з паливом, повітрям або з олією.

Вплив властивостей дизельного палива на утворення відкладень у двигуні оцінюють коксівністю, зольністю та йодним числом.

***Коксівність* — це здатність нафтопродукту утворювати кокс під час згорання. Коксівність оцінюється коксовим числом.**

***Коксове число* характеризує здатність палива утворювати вугільний залишок за високотемпературного (800...900 °С) розкладання палива без доступу повітря. Коксівність палива залежить від хімічного складу і наявності в ньому продуктів окисної полімеризації, а також від кількості вуглеводнів, що мають низьку термоокисну стабільність. Коксівність дизельного палива має бути не більшою за 0,3 %, а палива підвищеної якості — не більшою за 0,035 %.**

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, дістав назву *йодного числа*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число має не перевищувати 6 г на 100 г палива.

Схильність палива до лакоутворення оцінюють за вмістом лаку в міліграмах на 100 мл палива, для чого випаровують невелику кількість палива у спеціальному лакоутворювачі при температурі 250 °С.

Зольність палива характеризує вміст в ньому домішок, що не згорають. Наявність золи підвищує нагароутворення. Зола, яка потрапляє в олію, викликає прискорений знос деталей. Допустимий вміст золи в дизельному паливі 0,01... 0,02 %.

Інтенсивність утворення нагару залежить від властивостей палива, наявності в ньому сірки, смол, золи, а також навантаження і температурного режиму двигуна.

Вплив сірки на утворення нагару пов'язаний з більш ефективним процесом окисної полімеризації вуглеводнів у присутності сполук сірки, в тому числі продуктів її згорання.

Вміст сірки в паливі також впливає на утворення відкладень. Чим вище її вміст в паливі, тим більше нагару і лаку утворюється при його згоранні. Сірчисті з'єднання, які накопичуються в нагарі, підвищують його щільність. Схильність до нагароутворення зростає при збільшенні вмісту в дизельному паливі ароматичних вуглеводнів.

Наявність меркаптанів, сприяючи утворенню смол поряд зі смолами з олефінів та фактичними смолами, які є у паливі, призводить до осадження на запірних голках лакової плівки (з часом це зумовлює зависання голок розпилювача форсунок). Сірка у паливі шкідлива тому, що при роботі двигуна на сірчистому паливі утворюється більше нагару, інтенсифікується процес старіння олії.

Розрізняють дві фази відтворення нагару : його зростання і рівноважний стан. Збільшення нагару до граничного значення за товщиною залежить від температурних умов, якості палива, оливи і складу суміші. Закінчується ця фаза досить швидко. Після того, як шар нагару за висотою досягне граничної величини, яка залежить від теплового режиму двигуна, збільшення товщини нагару припиняється і настає фаза рівноважного стану. При цьому нагар, що знову утворюється, вже не накопичується на деталях, а вигорає і разом з продуктами згорання виноситься у випускний тракт.

Вміст смолистих речовин в дизельних паливах оцінюється так само, як і у бензинах, визначенням вмісту фактичних смол. З підвищенням вмісту фактичних смол в дизельному паливі схильність до нагароутворення зростає. Одна з вимог до якості

дизельного палива – вміст фактичних смол не повинен перевищувати 36...60 мг на 100 мл. Фактичні смоли, що є в дизельному паливі – це домішки, які залишилися після очищення базових дистилатів.

Наявність смол у паливі також збільшує нагар і закоксованість кілець. Тому кількість їх у паливі суворо обмежується стандартом. Проте на утворення нагару в камері згоряння впливають не тільки смоли, а й фракційний склад палива та в'язкість і, як наслідок, погане розпилювання палива, неповне його випаровування та згоряння, що призводить до утворення високотемпературних відкладень, продукти яких осідають на деталях двигуна.

На процес нагароутворення впливають також якість неорганічних домішок, стабільність палива і наявність в ньому неграничних вуглеводнів. Про кількість останніх судять за водневим числом. Найбільше на цей процес впливає на зниження тиску впорскування, через що різко погіршується якість розпилювання палива. Ось чому не рекомендується тривала робота дизелів на малих обертах та холостому ході.

Внаслідок окиснення олефінів при транспортуванні та зберіганні дизельного палива кількість фактичних смол у ньому збільшується, що погіршує нормальну роботу системи живлення двигуна. Якщо смоли потрапляють у камеру згоряння, утворення нагару на деталях двигуна збільшується, що погіршує його економічні та тягові показники.

5 Поліпшення якості нафтових палив

Для поліпшення показників бензину і дизельного палива до них можуть бути додані спеціальні присадки (перекис тетраліну, перекис ацетилу, хлор та ін.). Добавка незначної кількості цих речовин в паливі усуває окремі його недоліки.

Присадки — це речовини, які додаються до нафтопродукту (палива або мастильного матеріалу) для надання йому спеціальних властивостей або підсилення природних.

Присадки можна поділити на чотири групи:

- які поліпшують процес згоряння палива - антидетонатори, протидимні (зменшують нагароутворення й скорочують затримку самозаймання);

- які сприяють збереженню первинних показників якості палива – антиокиснювальні, диспергуючі (перешкоджають осаджуванню на деталях двигуна твердих продуктів з палива), діактиватори металів;

- які зменшують шкідливу дію палива на паливну апаратуру - протизношувальні, антикорозійні;

- які полегшують експлуатацію двигуна за низьких температур – депресорні (знижують температуру застигання палив) та присадки, що перешкоджають виділенню кристалів льоду та парафіну.

До бензинів найчастіше додають антидетонаційні та антиокиснювальні присадки. Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельних палив виконують їх часткову депарафінізацію і додають спеціальні присадки (депресори). Температуру застигання можна знизити введенням депресорної присадки (наприклад, АзНИИ-ЦИАТИМ-1).

Існують присадки, які дозволяють підвищити цетанове число дизельного палива. До числа таких присадок відносяться хлорпикрин, амлінітрат, перекис ацетилу, перекис ацетону, етилнітрат та ін. Є також присадки, які покращують пускові властивості дизельного палива і знижують температуру його застигання. Найбільш відомим представником таких присадок є етиловий ефір.

З метою додаткового поліпшення процесів згорання, зменшення шкідливих викидів, зниження нагаровідкладення на деталях циліндропоршневої групи і розпилювачах форсунок застосовуються паливні присадки: СП-2, НТ-204У, ВНИИ НП-101 (Росія), F-11 (Франція), Перолин-622ДЕ, Dodiflow 3905 (ФРН), Dipetane (Ірландія), Адизоль Т-4 (Росія, Фінляндія) та ін. Досвід їх використання показує, що додавання до 1 % присадки в паливо дозволяє досягти економії дизельного палива до 10 %, понизити викид оксидів вуглецю на 20 % і оксидів азоту на 10...15 %.

Руйнівну дію кислот нейтралізують доданням у дизельне паливо антикорозійних присадок, з яких найефективнішим є нафтенат цинку (0,23...0,3 %). Дизельне паливо з умістом сірки

більш як 0,2 % використовують тільки за умови, якщо двигун працює на оливі з антикорозійною присадкою.

Багатофункціональна присадка GASOLINE TREATMENT до бензину рекомендується для використання при обкатці нових двигунів, при роботі двигуна з великими навантаженнями, а також після заміни деталей поршневої групи, клапанів, направляючих втулок та інших. Вона має такі властивості:

- очищує карбюратор від відкладень;
- сприяє підвищенню якості горючої суміші;
- зменшує токсичність відпрацьованих газів;
- зменшує утворення нагару в камері згорання і на клапанах;
- нейтралізує дію води;
- змащує клапани і верхню частину циліндра.

Відомі спеціальні присадки (добавки) для поліпшення певної властивості. Присадка BIG BOOST CETANE LUB K&W KW 5332 (фірма AGA) підвищує цетанове число від 2 до 6 одиниць, залежно від якості дизельного палива, тобто зменшує жорсткість роботи двигуна. Подібна дія присадки OCTANE GAS BOOSTER PRIZE PENN 403405 (фірма AGA). Вона підвищує октанове число бензину на 4...6 одиниць, підтримує бензобак в чистоті, очищує паливну систему. Кисневмісна добавка ТУРБО-ОКТАН 115 підвищує октанове число бензину, усуває детонацію, зменшує токсичні викиди за рахунок ефективного згорання палива. Депресорна добавка до палива DIESEL ANTIFREEZE (фірми BARDAHL) полегшує запуск двигуна при низьких температурах, покращує плинність дизельного палива, знижує температуру точки замерзання палива, покращує фільтрацію і запобігає утворенню відкладень у фільтрах і системах впорскування.

Таку ж дію чинить присадка DRY FUEL+PLUS+ і Аспект-модифікатор, які зв'язують і нейтралізують воду, що запобігає її замерзанню в паливній системі, попереджає корозію, покращує екологічні показники двигуна.

На тепловозах залізниць України широко застосовувалася багатофункціональна присадка палив «Адізоль Т-6» (анамегатор) науково-виробничого підприємства «ADIOZ». Ця депресорна присадка покращує низькотемпературну плинність палива за рахунок дроблення кристалів парафіну на дрібнозернисті

частинки. Полегшується так само пуск холодного двигуна за рахунок утворення перекисів у паливі, сприяє повнішому згоранню, зниженню питомої витрати палива.

На сьогодні відомо близько п'ятдесяти типів присадок до палива. Їх світовий асортимент налічує декілька десятків тисяч товарних марок. Частково асортимент присадок, здебільше до дизельного палива, наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Асортимент присадок до палив

Тип присадки	Паливо	Концентрація, %	Приклад активного компонента	Призначення
1	2	3	4	5
Модифікатори займання				
<i>Антидетонатори</i>	<i>Бензини</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Металорганічні з'єднання свинцю, заліза і марганцю; органічні сполуки лужних металів</i>	<i>Запобігають передчасному займанню бензину в двигунах з примусовим займанням</i>
<i>Промотори займання</i>	<i>Дизельні палива</i>	<i>0,05-0,5</i>	<i>Алкілнітрати, алкілпероксиди</i>	<i>Підвищують цетанове число палив за рахунок створення вільних радикалів, що ініціюють самозаймання</i>
Модифікатори горіння				
Антидимні	Дизельні і палива	0,05-0,2	Паливорозчинні з'єднання барію, заліза, марганцю й інших металів	Прискорюють вигорання сажі на останніх стадіях процесу горіння палива. Замінюються на миючі

Тип присадки	Паливо	Концентрація, %	Приклад активного компонента	Призначення
1	2	3	4	5
Антисажові	Дизельні палива	0,001-0,05	Паливорозчинні з'єднання заліза, міді, цезію й інших металів	присадки Перешкоджають забрудненню фільтрів сажі, що знижують температуру вигорання сажі до температури відпрацьованих газів

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
Антинагарні	Дизельні палива	0,05-0,1	Термостійкі ПАР у поєднанні з каталізаторами горіння і модифікаторами нагару	Перешкоджають утворенню нагару в камері згорання, запобігають закоксуванню поршневих кілець
Ініціатори горіння	Бензини і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР з добавками малих кількостей беззольних промоторів горіння: нітратів, пероксидів	Інтенсифікують процес горіння палива
Стабілізатори				
Стабілізатори комплексного типу	Дизельні палива	0,01-0,05	Композиції антиоксидантів, деактиваторів металів, нейтралізуючих агентів і диспергаторів	Запобігають смоло- і осадотворенню в результаті окислення і інших реакцій ущільнення

Киснепоглинаючі	Реактивні і дизельні палива	0,01-0,05	Гідразин	Реагують з киснем, розчиненим в паливі, утворюючи неактивні з'єднання
Диспергуючі	Реактивні і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР: сульфонати, аліфатичні аміни, сукцініміди, основи Манніха алкілфенолів	Диспергують смолянисті з'єднання, переводять в розчин осадів і відкладення, які випали

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
Миючі				
<i>Очисники впускних клапанів (у двигунах інжекторного типу)</i>	<i>Бензини</i>	<i>0,05-0,1</i>	<i>Полібутенаміни, поліефіраміни</i>	<i>Запобігають утворенню відкладень в карбюраторі і на поверхні впускних клапанів двигунів з безпосереднім впускуванням бензину</i>
<i>Очисники розпилювачів форсунок (у двигунах інжекторного типу)</i>	<i>Дизельні палива</i>	<i>0,05-0,1</i>	<i>Сукцініміди; оксіетильовані алкілфеноли</i>	<i>Запобігають утворенню коксу на розпилювачах форсунок, що зберігає їх оптимальні гідравлічні характеристики</i>
Присадки для експлуатації палив при низьких температурах				
<i>Депресорні</i>	<i>Дизельні і залишкові палива</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Сополімери олефінів з вінілацетатом; поліакрилати</i>	<i>Запобігають зростанню кристалів парафінів і утворенню просторової</i>

<i>Диспергатори парафінів</i>	<i>Дизельні палива</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Азотвмісні ПАВ різної будови; високомолекулярні полімери</i>	<i>структури. Використовуються спільно з диспергаторами парафінів Диспергують парафіни, запобігаючи початку їх кристалоутворення. Забезпечують стабільність дизельних палив в умовах холодного зберігання</i>
-------------------------------	------------------------	-----------------	---	---

Продовження таблиці 5

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Антиобледенільні</i>	<i>Бензини і дизельні палива</i>	<i>0,01-0,05</i>	<i>ПАР різного складу, зокрема миючі присадок</i>	<i>Запобігають обмерзанню паливної апаратури, утворюючи на поверхні захисну плівку</i>
<i>Противодокристалізуючі</i>	<i>Реактивні і інші види палива</i>	<i>0,5-2,0</i>	<i>Спирти; целозольви</i>	<i>Утворюють низькозамерзаючі суміші з водою, яка розчинена в паливі</i>
Модифікатори тертя				
<i>Протизносні</i>	<i>Бензини, реактивні і дизельні палива</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Карбонові кислоти і їх похідні, жир</i>	<i>Утворюють на поверхні тертя плівку, що захищає її від зносу</i>
<i>Антифрикційні</i>	<i>Бензини і дизельні</i>	<i>0,01-0,05</i>	<i>З'єднання молібдену, ПАР</i>	<i>Підвищують механічний ККД</i>

<i>(паливо-зберігаючі)</i>	<i>палива</i>			<i>двигуна за рахунок зниження втрат на тертя</i>
Припрацьовочні	Дизельні палива	0,05-0,2	З'єднання алюмінію, хрому і інших металів, продукти згорання яких мають абразивну і поліруючу дію	Прискорюють обкатку двигунів і паливної апаратури

Продовження таблиці 5

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Антикорозійні</i>				
Антиржавіючі (захисні)	Усі види палив	0,005 - 0,05	Похідні алкенілянтарного ангідриду, амідні і комплексні солі сульфокислот	Зменшують електрохімічну корозію металів на межі розділу баз паливо - повітря, паливо - вода
Антикорозійні (низькотемпературна корозія)	Усі види палив	0,0005 - 0,005	Речовини, що нейтралізують продукти згорання сірчистих з'єднань; ПАР, що перешкоджають попаданню агресивних продуктів на поверхні	Знижують хімічну корозію, що викликана агресивними продуктами згорання палива або продуктами гідролізу компонентів палив і присадок

<i>Модифікатори колоїдно-хімічних властивостей</i>				
<i>Диспергуючі</i>	<i>Залишко-ві палива</i>	<i>0,05-0,2</i>	<i>Діалкілнафталін и, ПАР різної природи</i>	<i>Запобігають розшиаруванню палива при зберіганні і покращують його розпилювання</i>
<i>Діемульгатори</i>	<i>Дизельні і залишкові палива</i>	<i>0,005-0,01</i>	<i>Оксіетиловані спирти, кислоти й інші ПАР</i>	<i>Прискорюють відділення води від палива. Вимагають відстою</i>

Продовження таблиці 5

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Загушуючі</i>	<i>Дизельні палива з газових конденсатів</i>	<i>0,05-0,3</i>	<i>Поліметакрилати</i>	<i>Збільшують в'язкість дизельних палив, що отримуються з газових конденсатів, і тим самим покращують їх мастильні властивості</i>

6 Альтернативні види палива

Останнім часом, після декількох енергетичних і економічних криз, у світі посилюється інтерес до пошуку так званих альтернативних видів палива для ДВЗ. При цьому мається на увазі альтернатива саме рідкому нафтовому паливу, запаси якого обмежені і ціна на яке росте швидше за ціни на інші види палива.

На даний час нафта є чи не єдиним джерелом для виробництва моторних палив – близько 50 % добутої нафти іде

на зазначені потреби. До того ж транспорт, який працює на нафтовому паливі, є наймасовішим забруднювачем навколишнього середовища викидами відпрацьованих газів (суміші продуктів згоряння та вуглеводів, що не згоріли, та наддувного повітря), шкідливих речовин з систем живлення паливом, змащення та вентиляції картерів двигунів. Економія нафтових палив є актуальною для України ще й тому, що вона є країною-імпортером – близько 11 млн т нафти імпортується.

Саме у такому плані – пошуку використання більш екологічно чистого, дешевого, менш дефіцитного палива — слід розглядати проблему альтернативних видів палива і нових джерел енергії.

Головними вимогами до альтернативних видів палива є такий рівень фізико-хімічних властивостей, який би забезпечив можливість застосування цих палив без суттєвої зміни конструкції двигуна та паливної системи, а також збільшення економічної ефективності та покращення екологічних показників роботи двигуна.

Але у будь-якому разі переобладнання двигунів транспортних засобів на роботу на альтернативних видах палива приведе до певних капітальних витрат, у тому числі на інфраструктуру, але повинне позитивно позначитися на експлуатаційних витратах і екологічних показниках роботи двигунів.

Загальна класифікація альтернативних видів палива наведена на рисунку 2.



Рисунок 2 – Класифікація альтернативних видів палива

Найближчою альтернативою дизельному паливу для тепловозів вважається природний газ, за використанням якого на тепловозах вже отримані позитивні результати. Для транспортних цілей можливо використання природного газу в двох станах: зрідженому і стислому.

Зріджені нафтові гази одержують як побічний продукт при деструктивній переробці нафти (близько 30 % від виходу бензину) і супутнього нафтового газу. Основними компонентами цих газів є пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), їх похідні і суміші в різних пропорціях та природний газ метан (CH_4).

У порівнянні з нафтовим паливом зріджений газ має такі переваги:

- в 1,5...2 рази дешевше;
- більш висока детонаційна стійкість (октанове число ≈ 105), за рахунок чого можна застосовувати більш високі ступені стискання і, як результат, підвищити потужність та економічність двигуна;
- двигун на ньому працює м'якше, ресурс збільшується приблизно в 1,5 разу;
- термін служби моторної оливи зростає в 2...2,5 разу;
- практично не містить сірки, яка викликає корозію деталей і їх знос;

- знижує токсичність відпрацьованих газів (за оксидом вуглецю - в 3...4 рази, за оксидом азоту - в 1,2...2 рази, за вуглеводнем - в 1,3...1,9 рази);

- не накопичує смолянисті відкладення, оскільки нафтовий газ розчиняє їх.

За дослідницьким методом октанове число пропану становить 120, а бутану – 93. Це забезпечує форсування двигунів техніки зі ступенем стиснення до 8,5...9 та дає змогу збільшити їх потужність. Але при переведенні двигуна на зріджений газ потужність падає на 3...4 %.

У 80-ті роки минулого століття були розпочаті роботи з переобладнання дизелів тепловозів до роботи на природному газі, запас якого в зрідженому стані зберігається в спеціальних ізотермічних місткостях завдяки збереженню низької температури (близько мінус 160 °С). Двосекційний тепловоз 2ТЕ116 був оснащений третьою, проміжною кріогенною секцією і отримав позначення 2ТЕ116Г (виготовлений Луганським тепловозобудівним заводом). Проте економічні і політичні події не дали можливості завершити ці роботи до кінця.

Нині зріджений газ застосований на газотурбовозі ГТ1 з ГТД потужністю 8300 кВт за замовленням ВАТ РЖД для водіння вантажних потягів підвищеної довжини і маси.

Більший досвід роботи дизелів тепловозів на стислому газі. Науково-дослідні роботи виконувалися у ВНДІЗТ (з поданням стислого газу в повітряний ресивер) і в ХІПТі, нині УкрДУЗТ (з поданням стислого газу безпосередньо в камеру згорання дизеля) на маневрових тепловозах ТЕМ 2У. Обидва варіанти дали позитивні результати і Брянський машинобудівний завод освоїв випуск маневрових тепловозів ТЕМ18Г. Муромським заводом була випущена дослідна партія маневрових тепловозів малої потужності (314 кВт), які оснащені спеціальним візком з двома контейнерами з газовими балонами. У газодобувній промисловості широко використовується газ як паливо для стаціонарних дизелів 11Д100 виробництва заводу ім. В. А. Малишева (м. Харків).

Проходить випробування 2-х секційний маневровий газотурбовоз, оснащений газотурбінним двигуном ГТД 1000 та електричною передачею потужності. Друга секція є тяговим

бустером і сховищем стислого природного газу. На бустері встановлено 48 балонів з тиском 25 МПа, що вміщують близько 3000 кг метану, якого вистачає для роботи в маневровому режимі близько семи діб.

Значно ширше природний газ застосовується на автомобільному транспорті. Для автомобільних двигунів за ГОСТ 27578-87 («Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия») випускаються два види палива (таблиця 6):

- ПА - пропан автомобільний, який застосовується взимку при температурі повітря $-20 \dots -35 \text{ }^\circ\text{C}$;

- ПБА - пропан-бутан автомобільний, який застосовують за температури повітря вище $-20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для використання зріджених газів як моторне паливо достатньо встановити на машину тонкостінний балон (об'ємом до 250 л і робочим тиском 1,57 МПа), змішувач, редуктор-дозатор та паливовипаровувач для випаровування газу. Переобладнаний двигун може також працювати і на бензині (в разі повної витрати газу або в разі важкого запуску двигуна при низьких температурах).

Зріджені гази не мають кольору і запаху, знайти їх витік практично неможливо, тому в ці гази додають спеціальні речовини — одоранти. Найчастіше як одорант застосовують етилмеркаптан ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$), який має різкий неприємний запах.

Таблиця 6 – Характеристики зріджених газів за ГОСТ 27578-87

Показник		ПА	ПБА
Масова частка компонентів, %	пропан	90±10	50±10
	неграничні вуглеводні, не більше	6	6
Надлишковий тиск насичених парів, МПа, при температурі	+45°С, не більше	1,6	1,6
	-20°С, не менше	-	0,07
	-35°С, не менше	0,07	-
Масова частка сірководню, %, не більше		0,003	0,003

Масова частка сірки і сірчистих сполук, %, не більше	0,01	0,01
Вміст вільної води та лугів	відсутні	

Стиснені гази, що використовуються як моторні палива, одержують з родовищ природного газу (стиснений природний газ) і попутних газів нафтових родовищ (стиснений нафтовий газ). Основним компонентом цих газів є метан (CH₄), але є й інші вуглеводні (таблиця 7), а також вуглекислий газ, кисень, азот, водень та ін. Із усіх вуглеводневих газів метан містить максимальну кількість водню на один атом вуглецю і завдяки цьому він має високу теплотворність, достатньо широкі межі займистості та низький вміст токсичних речовин у продуктах згоряння.

В експлуатації гази із нафтових і газових родовищ не поділяються і мають загальну назву – стиснений природний газ.

Таблиця 7 – Вміст вуглеводнів у природних газах

Компоненти, %	Нафтовий газ	Природний газ
Метан	40...82	82...98
Етан	4...20	до 6
Пропан		до 1,5
Бутан		до 1

Інтенсивне використання стисненого природного газу як моторного палива обумовлено такими його перевагами перед зрідженими нафтовими газами:

- цей газ безпечніший, оскільки він легший за повітря і при витоках швидко випаровується;
- має меншу вартість;
- більш поширений у природі;
- відпрацьовані гази екологічно більш чисті (зменшення шкідливих речовин у викидах, особливо CO, порівняно із бензиновими двигунами може досягати 90 %).

Стиснений природний газ дозволяє на 35...40 % збільшити моторесурс двигуна за рахунок відсутності на його деталях

нагару. За рахунок зменшення забруднення і розрідження подовжується в 2...3 рази термін служби моторної оливи. Висока детонаційна стійкість (октанове число в межах 102...103) забезпечує м'яку роботу двигуна і можливість форсувати двигун за ступенем стискання. За енергетичними параметрами 1 м³ природного газу прирівнюється до 1 л бензину.

Промисловістю виробляються дві марки стисненого природного газу: А і Б, які, згідно з технічними умовами ТУ 51-16.6-83, відрізняються вмістом метану та азоту.

Основний недолік природного газу як моторного палива полягає в меншій (в 1000 разів) об'ємній енергогустині в порівнянні з рідкими нафтовими паливами. Окрім цього, до недоліків природного газу слід віднести:

- виділення в атмосферу метану (природний газ дуже швидко випаровується);

- утруднення з пуском двигуна в холодну пору року, що пояснюється більш високою температурою запалювання і самозаймання природного газу (187 і 517 °С відповідно);

- зниження технічних характеристик двигуна: потужності на 18...20 %, максимальної швидкості на 5...6 %;

- збільшення часу розгону на 24...30 %;

- збільшення трудомісткості обслуговування двигунів на 7...8 %;

- підвищення вимог відносно вибухо- та пожежобезпеки.

Головним недоліком газобалонної апаратури для стиснених газів, що встановлюється на транспортний засіб, є її маса. Балон з легованої сталі місткістю 50 л з газом під тиском 20 МПа важить 62,5 кг, а балон з вуглецевої сталі - 93 кг. Повна заправка восьми балонів, маса яких складає 14 % вантажопідйомності автомобіля, забезпечує 200...280 км пробігу. Зменшити масу балонів можна шляхом застосування легких композитних матеріалів, які в три рази менш в порівнянні зі сталевими.

Недоліком природного газу є його істотно менша величина теплоти згорання на одиницю об'єму в порівнянні з дизельним паливом. У стислому стані при тиску близько 20 МПа (ступінь стискування - 200) теплота згорання природного газу в чотири рази нижча, ніж у дизельного палива. Навіть у зрідженому стані (при температурі -162 °С) об'ємна теплота згорання природного

газу складає всього 21 МДж/л проти 39 МДж/л у дизельного палива. Для отримання однієї і тієї ж роботи замість 1 кг дизельного палива необхідно витратити приблизно 3,8 кг природного газу. Ця обставина створює певні труднощі при створенні потужних транспортних засобів на природному газі, збільшуючи масу запасу палива, що перевозиться.

Проте незважаючи на те, що стислий газ, безумовно, дешевше зрідженого і використати його технічно простіше, він не може бути застосований на магістральних локомотивах. Пробіг локомотива на стислому газі обмежується розмірами місткостей для нього. Для того, щоб двигун на стислому газі мав здатність виробити ту ж кількість теплової енергії, що і дизель тепловоза, об'єм газу в резервуарах газотепловоза має бути в п'ять разів, а маса газу в них в чотири рази більше (не рахуючи маси самих резервуарів, що витримують тиск газу 20 МПа). Уявити собі товстостінний балон місткістю 40 м³ на секції тепловоза неможливо. Отже, стислий газ може застосовуватися саме на локомотивах з обмеженим радіусом дії — маневрових, таких як ТЕМ18Г, газові резервуари якого мають ємність 8 м³, або на ще менш потужних промислових. За наявності в депо парку таких газотепловозів потрібні потужні компресорні станції для забезпечення заправки тепловозів за нетривалий час. Робота локомотива на газі не виключає потреби в дизельному паливі, витрата якого може досягати 50 % від загальної витрати.

Таким чином, для магістральних локомотивів з відмічених причин може бути застосований лише зріджений природний газ, при використанні якого виникають проблеми, які пов'язані з експлуатацією криогенної техніки, складнощами організації екіпіровки газотепловозів паливом, що має температуру мінус 160...170 °С.

Необхідність задоволення зростаючих потреб в енергії у поєднанні з дефіцитом найбільш ефективних видів моторного палива (нафти і газу) призводить у всьому світі до відродження широкого використання *кам'яного вугілля в енергетиці*.

Запаси кам'яного вугілля на земній кулі ще досить великі. Вони перевищують на порядок запаси нафти і газу. Вважають, що кам'яного вугілля людству вистачить ще на 150...200 років, тому, природно, потрібна оцінка можливостей використання цього виду палива для тяги потягів не лише за допомогою

електричної енергії, виробленої на теплових електростанціях, але і безпосередньо на автономних локомотивах.

Процес отримання палива з вугілля відбувається в дві стадії:

– спочатку вугілля або смолу розтирають з важкими олівами до утворення пасти, а потім гідрують під тиском 25...70 МПа в присутності каталізатора - заліза;

– одержану пасту переганяють, а фракції з температурою кипіння понад 325 °С знову піддають гідрогенізації (гідруванню), що полягає в приєднанні водню до хімічних елементів або сполучень під впливом каталізатора (металів, оксидів). Залежно від умов проведення процесу продуктами переробки можуть бути тільки бензин або бензин, дизельне паливо і мазут.

Синтетичне рідке паливо для ДВЗ отримують синтезом із суміші водню й оксиду вуглецю, які виробляють з нафтових речовин, природних газів і вугілля. В результаті цього одержують бензин, високоякісне дизельне паливо і парафін. Синтезують також високоякісні компоненти палив (наприклад, ізооктан, алкілбензол), що підвищують антидетонаційні властивості.

Рідке синтетичне паливо отримують також із смол, які утворюються при напівкоксуванні вугілля, торфу і сланців. Отримана смола за своїм складом нагадує нафту і використовується для вироблення синтетичного рідкого палива і мастильних олів. Отримання рідкого палива із смоли робиться її перегонкою з подальшим крекінгом важких залишків. Фракції при перегонці смоли піддають очищенню, після якого виходить товарна продукція.

Великим резервом рідкого палива є *бітумінозні дрібно- і крупнозернисті кварцові піски і піщаники*. За вмістом бітумів вони підрозділяються на три групи. Вміст бітумів у першій групі - більше 10 % (за масою), в другій - від 4 до 10 %, в третій - не більше 4 %.

Але виробництво 1 т синтетичного палива потребує від 3 до 6 т вугілля, тому це паливо поки що в 1,5...2 рази дорожче за бензин і практично не застосовується.

У зв'язку з достатнім розвитком газових двигунів внутрішнього згорання, у тому числі і на основі робіт із застосування природного газу на тепловозах, у більшості випадків спроби і способи використання кам'яного вугілля на

локомотивах цих типів (тепловозах і газотурбовозах) ґрунтуються на газифікації твердого палива і спалюванні генерованого газу в локомотивних енергетичних установках, пристосованих для цього. По мірі розробленості і реальності здійснення найбільш очевидні з цих способів можна розглянути в наступній послідовності.

Газогенераторні тепловози. Цей тип автономного локомотива на твердому паливі був би найбільш реальний і доступний для здійснення і використання на залізницях країни практично сьогодні ж, оскільки є досвід створення таких тепловозів і експлуатації їх на залізницях СРСР і КНР майже 70 років тому — в 1950-х роках. Ефективність використання вугілля на газогенераторних тепловозах була помітно вище, ніж на паровозах того часу.

Проте газифікація вугілля на транспортних газогенераторах відбувається менш ефективно, ніж це можливо в стаціонарних умовах, де ККК процесу може досягати 80 %. Теплота згорання газу, що отримується в результаті газифікації вугілля, або точніше, об'ємна теплота згорання робочої суміші при однаковому коефіцієнті надлишку повітря, виявляється нижче, ніж у звичайного дизельного палива. В результаті для отримання рівноцінної тягової потужності локомотива потрібно значне збільшення робочого об'єму двигуна (числа або розмірів циліндрів). Вартість такого тепловоза буде на 25...30 % вище, ніж традиційного дизельного тієї же потужності. Вартість експлуатації таких локомотивів також буде вище, оскільки для них потрібно додаткові екіпірувальні пристрої і операції при їх обслуговуванні: зберігання і попередня підготовка вугілля, його завантаження, очищення і видалення шлаку, які раніше були притаманні паровозній тязі.

Велике значення має і екологічний бік процесу. У складі вугілля міститься більше інертних і шкідливих домішок, тому при їх спалюванні збільшується забруднення атмосфери оксидами сірки.

Газотурбінна локомотивна установка на твердому паливі може бути здійснена двома шляхами: на генераторному газі, тобто з газогенератором і пилоподібним вугільним опалюванням.

Перша схема (газогенераторний газотурбовоз) аналогічна розглянутій вище схемі газогенераторного тепловоза з усіма її

недоліками. Оскільки газотурбінні установки використовують на локомотивах великої потужності, то в цьому випадку потрібен і газогенератор більшої продуктивності. Сферою можливого застосування такого газогенераторного локомотива може бути швидкісний пасажирський рух на неелектрифікованих лініях.

Друга схема вимагає попередньої підготовки пилоподібного вугілля в стаціонарних умовах або на самому локомотиві. Принципово ця схема можлива, але вона не бездоганна в екологічному відношенні - вона пов'язана з концентрованим викидом так званої «леткої золи». Робота турбіни на пилоподібному паливі неминуче пов'язана з інтенсивним абразивним зносом її соплового апарату і лопаток.

Незважаючи на усі мінуси, не виключено, що цей шлях зниження споживання дизельного палива і природного газу може бути затребуваний в майбутньому.

Паросилові енергетичні установки. Оскільки застосування твердого палива на локомотивах розглядається як варіант альтернативи рідкому паливу, то періодично виникають пропозиції про «повернення до паровоза», тобто про використання для локомотивів паросилової енергетичної установки на сучасному технічному рівні.

Для можливості ефективного використання паросилової енергетичної установки в ролі ЛЕУ автономного локомотиву потрібне рішення цілого ряду складних технічних завдань на сучасному рівні науки та техніки:

- застосування багатоциліндрової парової машини (із загальним валом для усіх циліндрів — за типом колінчастого валу ДВЗ);

- двоступінчате розширення пари з проміжним її підігріванням;

- застосування парової турбіни замість парової машини (паротурбовоз);

- спалювання вугільного пилу в «киплячому» шарі при температурі близько 850 °С за типом нових стаціонарних парогенераторів;

- двоступінчате спалювання вугілля в топці парового котла (газифікація в шарі при нестачі повітря і подальше спалювання газової суміші).

Розглядаються можливості зменшення споживання води (за рахунок конденсації пари в тендері-конденсаторі за типом створеного в передвоєнні роки для паровозів СО).

Як видно з огляду, нині вже є значний науково-технічний заділ для можливості створення сучасних автономних локомотивів на твердому паливі. Проте реальні потреби у використанні цих розробок виникнуть, мабуть, не скоро.

Без зміни конструкції двигуна застосовується *газоконденсатне паливо*, яке є сумішшю легкокиплячих нафтових вуглеводнів, що знаходяться у природі в підземних пластах в газоподібному стані під тиском 4,9...9,8 МПа при температурі 150 °С. При охолодженні і зниженні тиску до атмосферного (в умовах земної поверхні) суміш розпадається на рідку (конденсат) і газову складові.

Усі газові конденсати складаються в основному з нафтових і парафінових вуглеводнів і майже не містять ароматичних вуглеводнів. Вони мають низьку детонаційну стійкість і в основному використовуються як дизельне паливо марок ГШЗ і ГШЛ (таблиця 8).

ГШЗ - газоконденсатне широкофракційне паливо, яке одержують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з дизельним паливом, використовують при температурі навколишнього середовища -35 °С і вище.

ГШЛ - одержують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з товарними дизельними паливами, застосовують при температурах навколишнього середовища вище -5 °С.

Таблиця 8 – Показники якості дизельних та газоконденсатних палив

Показник		Дизельне паливо за ДСТУ 3868-99		Газовий конденсат	
		Л	З	ГШЛ	ГШЗ
Цетанове число, не менше		45	45	42	40
Фракційний склад, °С	t _{50%} , не більше	280	280	260	260
	t _{96%} , не більше	370	370	360	340

Кінематична в'язкість при 20°C, мм ² /с	3,0... 6,0	1,8... 6,0	2,0	1,45
Температура помутніння, °С, не більше	-5	-15	-5	-25
Температура застигання, °С, не більше	-10	-25	-15	-35
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не менше / не більше (для дизелів загального призначення)	40/-	35/-	-/15	-/12

Газоконденсатні палива мають цетанове число менше, ніж у звичайного дизельного палива. Це призводить до великої затримки самозаймання та зменшення подачі палива і, як результат, до зниження потужності двигуна орієнтовно на 7 %. Відповідне регулювання паливної апаратури дозволить уникнути цієї проблеми, а також витримати на належному рівні економічність та ефективність роботи дизеля й навіть поліпшити його динамічні показники.

Крім перерахованих альтернативних видів палива для ДВЗ є багато перспективних видів — спирти (метанол, етанол), ефіри, біопаливо, водень, вода як домішка до палива, енергія розщеплення атома.

Спирти. Разом з газовими моторними паливами як альтернативне паливо найбільш широко використовуються спиртні палива, які являють собою низькомолекулярні спирти - *метанол, етанол*, або так звані оксигенатні палива, що містять у своєму складі разом з вуглеводневим паливом (бензином, дизельним паливом) різні кількості кисневмісних добавок (спиртів та ефірів).

З великого числа аліфатичних спиртів як моторні палива знайшли застосування тільки метанол і етанол, виробництво яких має значні обсяги виробництва - десятки мільйонів тонн. Вони мають високі антидетонаційні властивості (ОЧ близько 100), знижений вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах, можливість виробництва з альтернативних джерел сировини.

Метанол - метиловий або деревний спирт, для виробництва якого сировиною служать природний газ, нафтові залишки, а останнім часом і вугілля, відходи лісового господарства, біомаса

та міські відходи. Енергетичний коефіцієнт корисної дії виробництва метанолу з вугілля становить приблизно 45...50 %, що трохи вище, ніж при виробництві дизельного палива і бензину (40 %). При виробництві метанолу із деревини цей коефіцієнт знаходиться в межах 42...50 %, а з природного газу - 60...70 %.

Етанол - етиловий або винний спирт, який виробляється із злаків, картоплі, цукрової тростини та ін., застосовується як в суміші з бензином, так і в чистому вигляді.

Серед основних недоліків спиртів як моторних палив слід виділити такі, як знижена теплота згорання в порівнянні з вуглеводневими паливами; низька енергощільність, що збільшує у два рази питому витрату; утруднений пуск холодного двигуна; висока корозійна агресивність (особливо на гумотехнічні і пластикові деталі устаткування і двигунів); потрібна істотна модернізація системи подачі палива.

Високі антидетонаційні властивості спиртів визначають їх переважне використання у ДВЗ з примусовим (іскровим) запаленням. Використання спиртів у дизельних двигунах утруднене через низькі цетанові числа (3...8), високу температуру самозаймання (в 1,5...2 рази вище, ніж у дизельного палива) і низькі мастильні властивості, що призводить до підвищеного зносу паливних насосів.

Тому в даний час все більш широке застосування знаходять так звані *сумішеві палива*, наприклад, застосування суміші із 15 % метанолу та 85 % бензину (призначається як М15) дає позитивні результати.

На даний час застосування спиртів як рідких палив для ДВЗ обмежене через високу їх вартість та невирішені питання з токсичністю (особливо метанолу), великі витрати харчових продуктів при виробництві етанолу (винного спирту).

Ефіри належать до оксигенатних палив, тобто продуктів, у склад яких входить кисень. І хоча до складу розглянутих вище спиртів також входить кисень, термін "оксигенатні" вперше був застосований саме до палив, які містять у своєму складі прості ефіри.

Широке застосування як моторні палива отримали такі ефіри, як *метилтретбутиловий (МТБЕ)* - застосовується як добавка до бензинів, та *диметиловий ефір (ДМЕ)* - застосовується як добавка до дизельного палива або його повний замітник.

При додаванні МТБЕ у бензин підвищується октанове число, поліпшуються пускові якості, потужність та економічність двигуна; зменшується знос деталей та утворення на них нагару і лакових відкладень; стабілізуються властивості моторної оливи; знижується токсичність ВГ (приблизно на 10 %). В таблиці 9 наведені характеристики для перспективних палив.

Таблиця 9 – Порівняльна характеристика бензину та перспективних палив

Показник		Бензин	Метано л	Етанол	МТБЕ
Октанове число	за дослідницьким методом	80...98	114	111	117
	за моторним методом	76...88	95	94	100
Кінематична в'язкість при 20°C, мм ² /с		0,65	0,55	1,76	0,75
Густина за 20°C, кг/м ³		700	800	790	750
Температура, °C	кипіння	35...195	65	78	51...62
	кристалізації	-60	-98	-115	-105
	самозайманн я	255... 370	464	423	421
	займання	-27...-39	8	13	11
Тиск насичених парів за 20°C, кПа		66,5...93	12,1	5,6	58,4
Границі займання об'ємні, %		0,8...5,2	5,5...36	4,3... 19	-
Масова частка кисню, %		-	49,9	34,7	18,2
Теплота згоряння, кДж/г·моль		254	238	278	-
Розчинність у воді, %		0,0008	Повна	Повна	14,3

Що стосується застосування диметилового ефіру (ДМЕ), то, на думку експертів, у даний час він є одним з найперспективніших палив для дизельних двигунів. Перспективність цього дизельного палива визначається двома основними обставинами:

- сировиною для виробництва ДМЕ є природний газ;

– високими експлуатаційними й екологічними властивостями.

Серед позитивних експлуатаційних якостей ДМЕ (таблиця 10) необхідно відзначити таке:

- високе цетанове число (55...60 од.);
- відсутність сірки в ДМЕ вирішує проблему вмісту оксидів сірки у відпрацьованих газах;
- наявність у молекулі ДМЕ атому кисню забезпечує повноту згоряння ДМЕ, що забезпечує практичну відсутність у камері згоряння нагару і частинок сажі у відпрацьованих газах;
- зниження температури горіння палива в камері згоряння і, як наслідок, зниження вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах;
- стійка робота двигуна на всіх режимах, включаючи режим пуску та холостого ходу без втрати потужності та економічності (в енергетичному еквіваленті).

Таблиця 10 – Фізико-хімічні властивості палив для дизельних двигунів

Показник		Нафтове дизельне паливо	ДМЕ
Молярна маса		148,6	46,07
Вміст сірки, ppm*		нижче 500	нижче 5
Масова частка ароматичних вуглеводнів, %		25	відсутні
Масова частка кисню, %		сліди	34,7
Тиск насичених парів за 38°C, кПа		0,69	800
Температура, °C	кипіння	180...370	-24,8
	самозаймання	220	235
Теплота згоряння, МДж/кг		42,5	24,8
Цетанове число		40...55	55...60
Кінематична в'язкість при 40°C, мм ² /с		2,0...3,5	0,25
Густина при 15°C, кг/л		0,8...0,84	0,6612
*ppm (part per million) - частин на мільйон.			

Найістотнішими недоліками ДМЕ як дизельного палива є в 1,5 разу менша теплота згоряння, що приведе до збільшення витрати ДМЕ в 1,5...1,6 разу в порівнянні з дизельним паливом.

Недоліками ДМЕ є також низька кінематична в'язкість (в 20...30 разів менша, ніж у дизельного палива) і дуже погані мастильні властивості. Певні складнощі при упродовженні ДМЕ пов'язані з його низькою температурою кипіння (мінус 24,8 °С), що приведе до необхідності створення інфраструктури для зберігання ДМЕ на складах депо, заправлення, зберігання в баці тепловоза та ін. Вирішення зазначених проблем зробить ДМЕ досить перспективним для застосування як заміник дизельного палива.

Біопаливами (біологічними паливами) називають моторні палива, які одержують з відновлюваних, в основному рослинних джерел, сировини. Етиловий спирт (гідролізний і харчовий), отриманий з рослинної сировини, також часто називають біоетанолом. Окрім біоетанолу, з відновлюваних джерел сировини в промисловому масштабі виробляють біодизельне паливо і так зване паливо P-series.

Для вироблення біодизельного палива можуть використовуватися різні олійні культури (соя, соняшник, рапс і т.п.), а також відходи виробництва яловичого й інших тваринних жирів. Найбільш часто для виробництва біодизельного палива використовують рапсову олію, яка виробляється з насіння рапсу. Однак рапсові або соєві олії — це ще не біодизельне паливо. *Біодизельне паливо – це моноалкілові ефіри довголанцюгових жирних кислот, що одержують з рослинної олії або тваринного жиру. Будь-які жири є ефірами довголанцюгових жирних кислот і гліцерину, який за своєю хімічною природою є триатомним спиртом. Це означає, що гліцерин у жирах можна замінювати трьома молекулами метилового спирту (метанолу або етилового спирту). Саме цей ефір метанолу (або етанолу) і довголанцюгових жирних кислот є біодизельним паливом, а процес хімічного заміщення в жирах гліцерину спиртами називається переестерифікацією.*

Рослинні оливи (пальмова, соєва, соняшникова, рапсова та ін.) алкілірують та отримують моноефіри відповідних кислот. Поширеним паливом цього типу є, наприклад, рапсовий метиловий ефір (РМЕ), який використовується у Швеції, ФРН, Франції та інших країнах. Його додають до дизельного палива в концентрації до 30 % без додаткового регулювання двигуна. У

західноєвропейських країнах прийнято рішення про обов'язкове додавання РМЕ в дизельне паливо.

Біодизельне паливо може застосовуватися на транспортних двигунах у чистому вигляді і як добавка до нафтового дизельного палива. Основні фізико-хімічні й експлуатаційні властивості біодизельного палива і його суміші з нафтовим дизельним паливом наведені в таблиці 11.

Таблиця 11 – Властивості біодизельного палива і його сумішей з нафтовим дизельним паливом

Показники	Нафтове дизельне паливо	Біодизельне паливо	Суміш нафтового та біодизельного палива, %			
			5	20	30	50
Густина при 15°C, кг/м ³	828	88А	833	840	848	858
Цетановий індекс	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51
Найнижча теплота згоряння, МДж/л	35,5	32,9	35,3	35,0	34,7	34,2
В'язкість при 40°C, мм ² /с	2,2...2,9	4,5	2,4	2,6	2,7	3,1
Температура спалаху, °C	73	188	75	76	78	83

Крім зниженої температури затвердіння (а це важливо для зимових погодних умов України), біодизельне паливо, як моторне паливо, має ряд цінних якостей. Його застосування істотно подовжує час життя двигуна, оскільки таке паливо має кращу мастильну здатність, ніж паливо з нафти. При цьому на 90 % знижується ризик ракових захворювань. За рахунок того, що біодизельне паливо містить 11 % кисню, кількість вуглекислого газу зменшується на 80 %, чадного газу — на 35 %, оксидів сірки — на 100 %, аерозолів — на 32 %, що має першорядне значення для поліпшення екологічної ситуації. Але треба враховувати, що біодизельне паливо виробляється з олійних культур, які є також цінними харчовими продуктами. Тому неможливо повністю перевести ДВЗ для роботи на біодизельне паливо.

Палива P-series, які розроблені в Принстонському університеті (США), є сумішшю етанолу, метилтетрагідрофурану (МТГФ), вуглеводнів C5+; в зимові сорти вводиться н-бутан.

Октанові числа палив P-series залежно від складу знаходяться в діапазоні 87...93 одиниці. За екологічними властивостями вони набагато перевершують нафтові бензини за вмістом [СН], СО і NO_x у відпрацьованих газах, вони також менш шкідливі для людини.

Для отримання палив P-series може використовуватися дешева відновлювана сировина - сільськогосподарські, деревні і паперові відходи. Один літр палива P-series еквівалентний одному літру звичайного бензину.

Водень. Донедавна водень розглядався лише як потенційне ефективне паливо. Проте постійно з'являються повідомлення про розробки експериментальних моделей автомобілів та інших транспортних засобів, що працюють на рідкому водні. Технологію використання водню як палива для автомобілів можна вважати повністю відпрацьованою.

Ще на початку 80-х років у колишньому СРСР був випробуваний дослідний автомобіль (РАФ-2203), в кузові якого були встановлені баки з рідким воднем. Аналогічні випробування, включаючи створення дослідного зразка на автівці ГАЗ-24 «Волга», виконані в ІПМаш НАН України (м. Харків).

Інтерес до водню, як моторного палива, обумовлений такими *властивостями*:

– при згорянні водню у двигуні утворюється практично тільки вода, і в цьому відношенні двигун на водневому паливі є найбільш екологічно чистим;

– високі енергетичні властивості водню - 1 кг водню еквівалентний майже 4,5 кг бензину (теплотворна здатність водню 120 МДж/кг, а бензину 44 МДж/кг) тобто в 2,7 рази нижче;

– практично необмежена сировинна база за умови отримання водню з води (за допомогою електролізу);

– при достатньому збідненні суміші можлива бездетонаційна робота водневого двигуна в широкому діапазоні стиснення;

– відсутність вуглецю у водневому паливі призводить до того, що у відпрацьованих газах практично відсутні оксиди

вуглецю (CO і CO₂) і незгорілі вуглеводні, а оксидів азоту дуже мало;

– суміш водень-повітря запалюється за наявності водню від 4 до 74 % і горить при температурі вище 500 °С з утворенням парів води.

Основні недоліки водневого палива:

– пожежо- і вибухонебезпека – суміш водню з повітрям утворює гримучий газ, тому потрібна повна герметичність, у тому числі і при заправці;

– навіть у рідкому стані він займає об'єм у 3,5 разу більший, ніж еквівалентна кількість бензину. Необхідна також надійна теплоізоляція баків, оскільки температура зрідженого азоту становить -253 °С й для його зберігання необхідна криогенна температура нижче -120 °С;

– викид оксидів азоту за рахунок більш високої температури горіння водно-повітряної суміші удвічі перевищує викид оксидів азоту бензинового двигуна, але при збідненні суміші кількість цих оксидів різко знижується, а при досягненні коефіцієнта надлишку повітря 1,8 вони зовсім відсутні;

– при роботі стандартного двигуна на водні його потужність знижується на 15...20 %.

Широкий діапазон займання водно-повітряної суміші – 14...74 % та вибухонебезпечності – 18,3...74 % створює проблеми при використанні водню. Але висока температура займання (590 °С) і швидке розсіювання в атмосфері дозволяють прирівняти водень за ступенем пожежо- та вибухонебезпечності до природного газу.

Незважаючи на зазначені недоліки, водень є найбільш перспективним паливом взагалі і для двигуна внутрішнього згорання зокрема. На сьогодні водень використовується як добавка до рідких палив для збагачення їх висококалорійним компонентом. При цьому двигун не потребує ніяких змін. Встановлено, що на режимі холостого ходу на 100 км пробігу автомобіля замість 12,2 кг бензину витрачається всього 5,5 кг бензину і 1,8 кг водню. Отже, 1,8 кг водню замінює 6,7 кг бензину, тобто 1,8 кг водню дає змогу зекономити 50...55 % бензину.

Слід ураховувати, що вартість водневого палива не вища, ніж інших видів синтетичного палива. При цьому концентрація оксиду вуглецю у відпрацьованих газах знижується в 13 разів, оксидів азоту — в п'ять разів, вуглеводнів — на 30 %, якщо вводити водень в горючу суміш на режимах холостого ходу, малих та середніх навантажень. Передчасне запалювання і жорсткості згоряння водно-повітряних сумішей можливо усунути упорскуванням водню безпосередньо в камеру згоряння.

Висока температура самозаймання водно-повітряної суміші утруднює використання водню як паливо для дизельних двигунів. Стійке займання може бути забезпечене або примусовим підпалом від свічки або організацією роботи двигуна в газодизельному режимі, коли запалювання виникає за рахунок невеликої кількості дизельного палива, що подається в циліндр разом із воднем.

Технічні труднощі при використанні і висока вартість водню привели до того, що надається увага розробленню комбінованого палива бензин-водень.

Перспективним способом зберігання водню на борту транспортного засобу є *металогідридні акумулятори*. Виділення водню із балонів, заповнених гідридом, забезпечується їх підігріванням рідиною із системи охолодження двигуна або вихлопними газами. Гідридні акумулятори можна заряджати та розряджати декілька тисяч циклів без втрати енергоємності. У разі аварії та руйнування зовнішньої оболонки ємності для зберігання частина водню швидко випаровується, викликаючи тим самим охолодження акумулятора і зупинку виділення водню. Гідридний акумулятор водню набагато безпечніший за бак із бензином.

З огляду перспектив застосування водневої енергетики в майбутньому найважливішими є економічні фактори. В цьому відношенні водень як енергоносіє не має конкурентів. Сировинні ресурси для одержання водню необмежені: його можна одержати з біомаси у результаті газування вугілля, часткового окиснення вуглеводневого палива, застосовуючи сонячне випромінювання, а також у результаті електролізу води. Але для здобуття водню потрібна велика кількість енергії. Собівартість цих методів, у

перерахунку на енергетичну одиницю, у 2...10 разів вища, ніж одержання природного горючого газу.

Можливість використання водню в локомотивній тязі здається досить віддаленою. Але в принципі це можуть бути тепловози з дизелем на рідкому водневому паливі – це ті ж газотепловози з криогенною системою зберігання зрідженого газу.

З метою економії бензину та раціональнішого використання низькооктанових бензинів останнім часом активно ведуться роботи щодо використання *води як домішки до палива*.

Механізм дії води на робочий процес у ДВЗ вивчений не повністю, але вважається, що при додаванні води підвищується октанове число палива, зростає потужність і економічність роботи. Деякі фахівці вважають, що вода є не тільки каталізатором, а й безпосередньо бере участь у процесі горіння суміші.

Вода може подаватися безпосереднім впорскуванням у циліндри або впускну систему двигуна, а також у вигляді водобензинової емульсії (ВБЕ), приготовленої раніше. Використання ВБЕ пов'язане з рішенням низки практичних завдань:

- створенням водобензинової емульсії;
- розробкою ефективних ПАР;
- створенням раціональної системи виготовлення і використання водобензинової емульсії в депо.

Практика показала, що через підвищену в'язкість ВБЕ до її складу поки що можна вводити не більш як 10 % води.

Незважаючи на перелічені недоліки, практика показує, що при роботі двигуна на ВБЕ з умістом 10...30 % води питома витрата бензину знижується на 12...22 % при повних навантаженнях і на 7... 10 % - при середніх. Крім того, приблизно в 2...6 разів знижується вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигуна.

У дизелях можна також використовувати обводнене дизельне паливо – водопаливну емульсію (ВПЕ), що характеризується вищою фізичною стабільністю, ніж ВБЕ, і для її приготування потрібно значно менше ПАР.

В разі використання в дизелях ВПЕ питому витрату палива можна знизити на 2...6 %. Димність відпрацьованих газів при цьому зменшується завдяки впливу водяних парів на процес газифікації вуглецю (сажі).

У далекому майбутньому можливе застосування *енергії ділення ядер атомів*, наприклад урану, при якому виділяється тепла енергія для створення наземних транспортних засобів з ядерною силовою установкою (ЯСУ).

Фахівці вважають, що розвиток атомної енергетики - необхідний шлях виходу з енергетичної безвиході, пов'язаної з неминучим збільшенням дефіцитності природного органічного палива – нафти і газу. Інша точка зору, яка не має наукового обґрунтування, але поширена серед населення, наполягає на тому, що безпека АЕС не може бути гарантована.

Інтерес до локомотивів з ядерною силовою установкою (ЯСУ) виник ще в 60-х роках минулого століття, коли було розроблено, у тому числі і в СРСР, декілька різних проектів. Таких локомотивів і сьогодні у світі ще немає, але опрацювання проектів виконуються, і у наш час і на найсучаснішому рівні.

Принцип дії локомотива з ЯСУ не відрізняється від принципу дії усіх автономних локомотивів. Ядерна силова установка — атомний реактор — є тепловим генератором, тобто джерелом теплової енергії, яка виділяється в процесі ланцюгової реакції ділення (розпаду) атомів ядерного палива. За допомогою теплоносія ця енергія передається в теплообмінник робочому тілу, яке в якомусь тепловому двигуні, у свою чергу, перетворить свою теплову енергію в механічну роботу, яку далі можна використати для створення сили тяги.

Проте, виконані в США розрахунки показали, що локомотив такого типу не може мати очевидних техніко-економічних переваг в порівнянні із звичайним тепловозом - скорочення витрат на паливо в експлуатації перекриватиметься в приведених витратах значно більшою вартістю самого локомотива і збільшенням витрат на його обслуговування. Приблизно такі ж якості мав би тепловоз з дизелем, переобладнані на водневе паливо.

7 Правила поводження з паливом

Пари дизельного палива шкідливі для здоров'я людини, вони також вогненебезпечні та вибухонебезпечні. Тому при зливів, зберіганні і застосуванні палива і оливи обслуговуючий персонал локомотивних депо і складів палива повинен завжди дотримуватися правил особистої та протипожежної безпеки. Працівники, які контактують з дизельним паливом, повинні знати, що дизельне паливо має отруйні властивості. Вдихання парів дизельного палива, потрапляння їх усередину організму можуть викликати важке отруєння.

Недбале поводження з дизельним паливом може привести до захворювання шкірного покриву (дерматити, екзема).

Локомотивні і ремонтні бригади повинні постійно стежити за герметичністю паливної та оливної систем.

Паливо, масло та інші забруднення, що з'явилися у відсіках дизеля тепловоза, слід видаляти за допомогою шприців або інших пристосувань.

Для захисту шкіри від шкідливої дії дизельного палива і олив рекомендується перед роботою і після неї змащувати руки мазями (ланоліном, вазеліном, пастою «біологічні перчатки» та ін.).

Слід пам'ятати, що займання дизельного палива при зберіганні і застосуванні може відбутися не тільки від відкритого вогню, але також і при нагріванні до певних температур. При терті дизельного палива об метали, гуму і тканини можуть виникнути заряди статичної електрики. Електризація палива може відбуватися при ударі струменя палива по твердій поверхні при наливанні в резервуар, коли струмінь падає з великої висоти і розбивається на дрібні краплі, а також під час проходження палива по трубопроводах, рукавах та ін.

Якщо бак або резервуар не заземлений, може зібратися статична електрика, здатна при замиканні дати іскру, достатню для запалення парів дизельного палива.

Для усунення пожеж і вибухів на нафтоскладах і тепловозах необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки:

а) паливозаправні пристосування і ті місця, де може накопичуватись статична електрика, необхідно заземлювати;

б) забороняється застосовувати відкритий вогонь, палити на заправних пунктах, в дизельному приміщенні, а також запалювати сірники, факел, користуватися гасовим ліхтарем біля паливних баків, в дизельному приміщенні і нафтосховищах;

в) обтиральні матеріали, просочені паливом, слід зберігати в спеціальних залізних ящиках;

г) забороняється відгвинчувати пробки паливних баків ударами молотка, зубила, так як це може викликати утворення іскор. При необхідності для цього можна користуватися мідними або обмідненими ключами.

Питання для модульного контролю

- 1 Які переваги та недоліки дизельних двигунів порівняно з бензиновими?
- 2 Які вимоги ставляться до дизельного палива?
- 3 Що таке цетанове число дизельного палива, його значення та вплив на роботу двигуна?
- 4 Що таке жорсткість роботи дизельного двигуна?
- 5 Засоби визначення цетанового числа та його підвищення.
- 6 Від яких показників властивостей дизельного палива і як саме залежить прокачування палива?
- 7 Надайте перелік властивостей дизельного палива та їхню характеристику.
- 8 Якими показниками характеризуються низькотемпературні властивості дизельного палива та як його поліпшити в умовах експлуатації?
- 9 Як впливає фракційний склад дизельного палива на роботу та зношування деталей двигуна, витрати палива й оливи, а також на відпрацьовані гази?
- 10 Вплив сірки та сірчаних сполучень на роботу двигуна, нагаровідкладення та зношування деталей циліндропоршневої групи.
- 11 Назвіть асортимент і маркування дизельного палива.
- 12 Назвіть асортимент і маркування зарубіжного дизельного палива.
- 13 Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-Л-Євро5-В5.
- 14 Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-З-Євро4-В0.
- 15 Від чого залежать смоловідкладення та нагароутворення у двигуні й які методи їх зниження?
- 16 Назвіть марки палива важкого фракційного складу та завод-виробник.
- 17 Склад нагару й якими властивостями палива його оцінюють?
- 18 Назвіть фази створення нагароутворення.
- 19 Призначення та види присадок до моторних палив.

- 20 Що називається альтернативним паливом? Які основні види альтернативних палив?
- 21 У чому полягають особливості використання газоподібного палива?
- 22 Як класифікується газоподібне паливо?
- 23 Назвіть переваги та недоліки газоподібного палива.
- 24 Які основні компоненти стисненого природного газу?
- 25 Які переваги та недоліки стиснених природних газів як палива для ДВЗ?
- 26 Які основні компоненти зріджених газів?
- 27 Які марки палив із зріджених газів?
- 28 Як зберігається зріджений газ на борту транспортного засобу?
- 29 Які переваги та недоліки застосування зрідженого газу як палива для ДВЗ?
- 30 Які основні напрямки переведення тепловозних ДВЗ на стиснений та зріджений природний газ?
- 31 Наведіть приклади застосування газоподібного палива на залізничному транспорті.
- 32 Що таке газовий конденсат і де він застосовується?
- 33 Які марки газоконденсатного палива випускаються промисловістю?
- 34 Які особливості застосування газового конденсату як палива для ДВЗ?
- 35 Які види палива належать до перспективних?
- 36 Які переваги та недоліки спиртів як палива для ДВЗ?
- 37 З якої сировини отримують промисловим способом метанол і етанол?
- 38 Яке октанове число мають метанол та етанол?
- 39 Як впливає додавання спиртів у дизельне паливо на його властивості?
- 40 Що являє собою метилтребутиловий ефір?
- 41 Які позитивні результати додавання МТБЕ до бензинів?
- 42 Які позитивні якості диметилового ефіру як альтернативного дизельного палива?
- 43 У чому полягають недоліки диметилового ефіру, які обмежують його використання?

- 44 Що служить речовиною для одержання біодизельного палива?
- 45 Які позитивні результати застосування біодизельного палива?
- 46 Які перспективи біодизельного палива в Україні?
- 47 Що таке паливо P-series?
- 48 Застосування водню як моторного палива, його переваги та недоліки?
- 49 Назвіть сировинні ресурси для одержання водню.
- 50 Який сучасний промисловий спосіб одержання водню?
- 51 Як зберігають водень на транспортних засобах?
- 52 Які переваги зберігання водню в складі металогідридів?
- 53 На яких режимах роботи двигуна доцільно застосовувати водень?
- 54 Як впливає застосування водню на зменшення шкідливості відпрацьованих газів?
- 55 Які перспективи використання водню як палива?
- 56 Застосування води як домішки до палива. Що таке ВБЕ та ВПЕ?
- 57 Назвіть засоби отримання синтетичного рідкого палива для ДВЗ з кам'яного вугілля, торфу, сланців та битумінозних пісків.
- 58 Перспективи застосування газогенераторних, газотурбінних, паросилових установок на локомотивах.
- 59 Назвіть основні правила поводження з паливом та вплив на працівників локомотивних депо.
- 60 У чому зберігають палива на складах локомотивного господарства?

Список літератури

- 1 Мурзин, Л.Г. Топливо, вода, смазка [Текст] / Л.Г. Мурзин, В.М. Гончаров. – М.: Транспорт, 1981. - 253 с.
- 2 Меркурьев, Г.Д. Локомотивным бригадам о топливе и смазочных материалах [Текст] / Г.Д. Меркурьев. - М.: Транспорт, 1988. - 125 с.
- 3 Аржанухин, Г.В. Эксплуатационные материалы: топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст]: учеб. пособие / Г.В. Аржанухин. - М.: МГИУ, 2006. - 83 с.
- 4 Васильев, В. Диметилловый эфир. Надежды конструкторов, водителей и экологов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://os1.ru/article/5472-dimetiloviy-efir-nadejdy-konstruktorov-voditeley-i-ekologov/> - (Дата обращения 20.09.2016).
- 5 Данилов, А.М. Применение присадок в топливах [Текст]/ А.М. Данилов. - М.: Мир, 2005. - 288 с.
- 6 Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы [Текст]: учебник / А.В. Кузнецов. - М.: КолосС, 2007. - 198 с.
- 7 Полянський, С.К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин [Текст]: підручник / С.К.Полянський. - К.: Либідь, 2005. - 504 с.
- 8 Стрелко, В. Биодизель - актуальная идея столетней давности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.biodiesel.com.ua/category/> - (Дата обращения 15.03.2016).
- 9 Стуканов, В.А. Автомобильные эксплуатационные материалы. Лабораторный практикум [Текст]: учеб. пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД "Форум": ИНФРА-М, 2006. - 208 с.
- 10 Итинская, Н.И. Топливо, масла и технические жидкости [Текст]: справочник / Н.И. Итинская, Н.А. Кузнецов. - М.: ВО Агропромиздат, 1989. - 304 с.
- 11 Автомобильные эксплуатационные материалы зарубежного производства [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://vtk34.narod.ru/shevireva_avtmatzarub/intex/htm. - (Дата обращения 15.03.2016).
- 12 Капустин, В.М. Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками [Текст] / В. М. Капустин. - М.: КолосС, 2008. – 232 с.
- 13 Бойченко, С.В. Хімотологія [Текст]: навч. посібник / С.В. Бойченко [та ін.]. - К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. - 160 с.
- 14 Звонов, В.А. Метанол как топливо транспортных двигателей [Текст] / В. А. Звонов, В. И. Черных, В. К. Балакин. - Харьков: Основа, 1990. – 154 с.

15 Кравець, А.М. Альтернативні види палива для двигунів внутрішнього згоряння [Текст]: конспект лекцій / А. М. Кравець. - Харків: УкрДАЗТ, 2010. - 29 с.

Український державний університет залізничного транспорту

Механічний факультет

Кафедра «Експлуатація та ремонт рухомого складу»

Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін

Хімотологія дизельних палив.

Альтернативні види палива

Конспект лекцій з дисципліни

«Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства»

Харків 2016

Жалкін Д.С., Жалкін С.Г. Хімотологія дизельних палив. Альтернативні види палива: Конспект лекцій. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. - 42 с.

У даному конспекті лекцій наведено матеріали, що стосуються хімотології дизельних палив. Крім загальних властивостей дизельних палив та вимог до його якості й умов застосування, розглянуто причини жорсткої роботи дизельних двигунів, поняття цетанового числа. Надано способи регулювання цетанового числа, метод його визначення і розрахунку.

В стислій формі розглянуто вплив деяких показників палива – густини, в'язкості, низькотемпературних властивостей (температур помутніння, застигання), фракційного складу, у т.ч. вмісту сірки та сірчаних сполучень та інших - на повноту згоряння палива, його витрату, склад відпрацьованих газів, процес парафінізації. Надані характеристики, асортимент та умовне позначення дизельних палив, що застосовуються, як вітчизняних, так і зарубіжних.

Окремо розглянуто питання нагароутворення та смоловідкладення, їх склад та умови утворення. Наведена інформація щодо застосування присадок та добавок до палива, надано асортимент та призначення добавок.

Розглянуто проблему можливості та доцільності застосування альтернативних палив, таких як природні та інші гази, спирти, ефіри, біопалива, водень та ін. Наведено матеріали щодо їх практичного застосування, проаналізовано позитивні та негативні наслідки для ДВЗ та навколишнього середовища.

Рекомендується студентам, що навчаються за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» та вивчають курс «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства».

Лл. 2, табл. 10, бібліогр.: 15 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 21 березня 2016 р., протокол № 27.

Рецензент
проф. О. Б. Бабанін

ЗМІСТ

1 Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості	4
2 Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив	12
3 Асортимент зарубіжних дизельних палив	19
4 Смоло- і нагароутворення у ДВЗ	20
5 Поліпшення якості нафтових палив	24
6 Альтернативні види палива	22
7 Правила поводження з паливом	38
Питання для модульного контролю	40
Список літератури	42

1 Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості

Дизельне паливо являє собою гасовогазойлеві фракції переробки нафти з температурами кипіння від 200 до 350 °С. Це прозора, більш в'язка порівняно з бензином, рідина від жовтого до світло-коричневого кольору. Його забарвлення залежить від концентрації смол.

Дизельне паливо – це горюча рідина; температурні границі займання — від 57 до 119 °С, а температура самозаймання – 300...250 °С.

У дизелях, на відміну від карбюраторних двигунів, не застосовують іскрове запалення, і паливно-повітряна суміш запалюється внаслідок самозаймання при стискуванні. Тому для дизелів доцільно використати паливо з порівняно низькою температурою самозаймання.

Дизельне паливо порівняно з бензином має істотний недолік – набагато обмежена сировинна база. Дизельне паливо виробляють переважно прямою перегонкою й каталітичним крекінгом із наступним очищенням. При цьому при прямій перегонці вихід бензину 10...15 %, дизельного палива 15...20 %; каталітичним крекінгом добувають бензину 40-50 %, дизельного палива 10...15 % від кількості переробленої нафти. Крім того, бензин виробляють не лише з нафти, а й із газів, вугілля, важких нафтопродуктів, у тому числі дизельного палива. Перехід автівок, сільгосптехніки та будівельно-дорожніх машин на дизелі також призводить до дефіциту дизельного палива.

Дизельне паливо повинне відповідати таким вимогам:

- мати оптимальні щільність, поверхнєве натягнення, випаровуваність і самозаймистість;
- зберігати текучість при низьких температурах;
- бути хімічно і фізично стабільними;
- мати мінімальну корозійну дію;
- не містити води і механічних домішок, сірчаних з'єднань, водорозчинних кислот і лугів;
- мати тонке розпилювання та хороше сумішоутворення й згоряння;
- повне згоряння без утворення диму, щоб двигун легко запускався й м'яко працював;

- якнайменше утворення нагару на клапанах, кільцях, поршнях і відкладень у зоні розпилювачів форсунки й у камері згоряння.

Від якості палива залежить надійність роботи двигуна і, як наслідок, витрати на його обслуговування та ремонт і, зрештою, собівартість експлуатації локомотива.

Цетанове число дизельного палива визначається відсотковим складом (за об'ємом) цетану в еталонному паливі, що має однакове самозаймання з досліджуваним паливом.

Схильність цетану до самозаймання умовно оцінюється у 100 одиниць, а альфаметилнафталіну - в нуль.

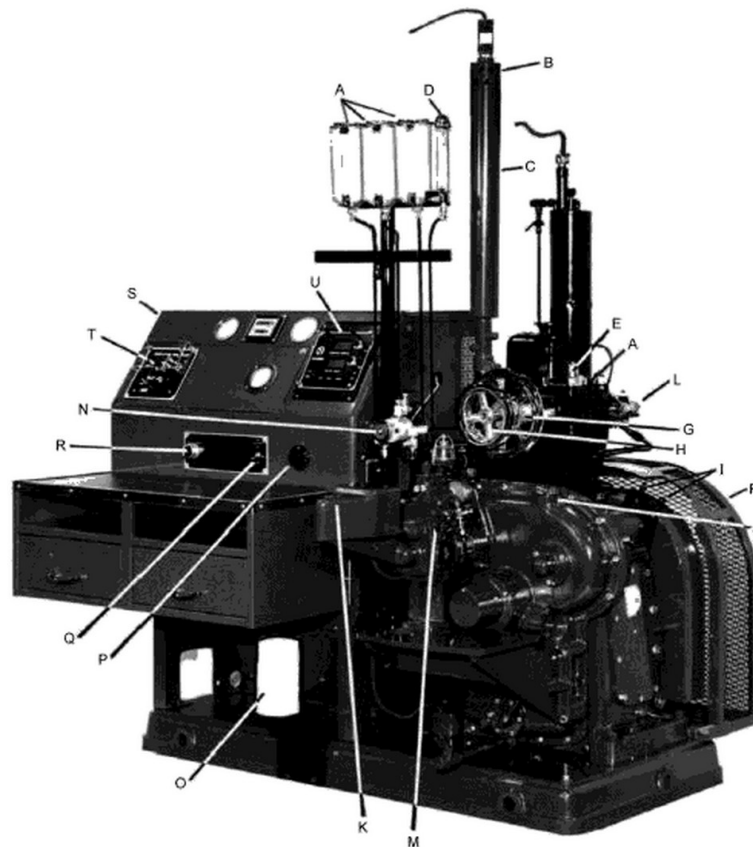
Альфаметилнафталін ($C_{10}H_7CH_3$) - це чистий вуглеводень, ароматичного ряду, характеризується найбільшим періодом затримки та високою температурою самозаймання. Звідси різко збільшується тиск на 1 град. ОКВ і жорстка робота двигуна.

Цетан ($C_{16}H_{34}$) - це чистий вуглеводень парафінового ряду, для якого характерними є найшвидший розпад й окиснення у стисненому повітрі під впливом температури та тиску. Він має найменший період затримки самозаймання, що забезпечує м'яку роботу двигуна.

При змішуванні цетану з альфаметилнафталіном у різних співвідношеннях одержують низку еталонного палива з різною схильністю до самозаймання. Чим більше цетану в суміші, тим вища її схильність до самозаймання.

Для визначення самозаймання дизельного палива треба підібрати такий склад суміші цетану й альфаметилнафталіну, який був би рівнозначний за температурою самозаймання досліджуваному паливу.

Цетанове число можна визначити за збігом спалахів, затриманням самозаймання і за критичною мірою стискування. Зазвичай цетанове число визначають за методом збігу спалахів, використовуючи для цього одноциліндрову установку WAUKESHA CFR-F5U (ИТ9-3М), яка працює за принципом самозаймання палива від стискування. Конструкція установки забезпечує зміну міри стискування в межах 7...23 (рисунок 1).



А – паливні баки; В – кожух нагрівача повітря; С – глушник повітрязабірника; D – бюретка вимірювання витрати палива; Е – датчик займання; F – захисний кожух; G – ручний маховик плунжера змінного ступеня стиснення; Н – стопорне колесо маховика плунжера змінного ступеня стиснення; I – датчики маховика; J – кришка масляного фільтра; К – соленоїд аварійного вимкнення паливного насоса; L – форсунка; М – паливний насос; N – селекторний кран перемикач паливних баків; О – оливний фільтр; P – регулятор нагрівача моторної оливи; Q – перемикач нагрівача повітря; R – панель запуску-зупинки двигуна; S – приладова панель; Т – регулятор температури повітря, що подається; U – подвійний цифровий вимірювач цетанового числа

Рисунок 1 – Установа для визначення цетанового числа

Випробування проводять таким чином. Запускають двигун установки і задають йому стандартний режим роботи. Потім двигун переводять на випробовуване паливо. Кут випередження впорскування встановлюють рівним 13° до приходу поршня у ВМТ. Потім зміною міри стискування домагаються початку самозаймання палива строго у ВМТ. Після цього в тих же умовах

переводять двигун на суміш цетану і α -метилнафталіну, або ізооктану, підбираючи такий її склад, щоб вона при знайденій мірі стискування також займалася строго у ВМТ. Тоді відсотковий вміст цетану в цій суміші і показує цетанове число випробовуваного палива.

Цетанове число випробовуваного палива CN_s ,

$$CN_s = CN_{LRF} + \left(\frac{HW_s - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}} \right) \cdot (CN_{HRF} - CN_{LRF}), \quad (1)$$

де CN_{LRF} – цетанове число низькоцетанового еталонного палива;

CN_{HRF} – цетанове число високоцетанового еталонного палива;

HW_s – показання для зразка;

HW_{LRF} – показання для низькоцетанового еталонного палива;

HW_{HRF} – показання для високоцетанового еталонного палива.

Цетанове число палива можна підвищити двома способами: регулюванням вуглеводневого складу палива або введенням спеціальних присадок.

Перший спосіб ґрунтується на тому, що гемологічні ряди вуглеводнів за ознаками зниження цетанового і підвищення октанового чисел розміщуються в одному й тому самому порядку: нормальні парафіни – ізопарафіни – нафтени – ароматичні вуглеводні. Отже, цетанове число можна значно підвищити, збільшуючи відсоток різних нормальних парафінів і знижуючи — ароматичних.

Другий спосіб ґрунтується на введенні кисневмісних добавок (органічні пероксида, складні ефіри, спирти тощо). Введення в паливо всього 1 % присадок дає змогу підвищити цетанове число на 8...12 одиниць.

Процес сумішоутворення та згоряння палива у дизелі значною мірою залежить від конструкції камери згоряння і характеризується періодом затримки самозаймання — часом від моменту впорскування суміші в циліндр дизеля до її займання. Паливо в циліндрі двигуна займається не відразу, а через деякий час, який називається *періодом затримки самозаймання*. У разі великої затримки самозаймання паливоповітряної суміші в циліндрі дизеля накопичується і відразу згоряє велика частина

палива. Це спричиняє різке наростання тиску на кожний градус оберту колінчастого вала. При цьому спостерігається жорстка робота двигуна. *Жорсткість роботи дизеля*, що характеризується швидкістю збільшення тиску залежно від кута ОКВ, пов'язана із затримкою самозаймання палива. Її оцінюють за збільшення тиску на 1 град ОКВ. Вважається, що *двигун працює м'яко* за збільшення тиску до 0,25...0,50 МПа на 1 град ОКВ, *жорстко* — за 0,6...0,9 МПа і *дуже жорстко*, коли тиск перевищує 0,9 МПа (такий режим може призвести до швидкого виходу двигуна з ладу).

Зовнішні ознаки жорсткої роботи двигуна ідентичні детонаційному згорянню бензину в бензинових двигунах, тобто прослуховується характерний металічний стук від дії ударної хвилі на поршень двигуна. Такт стиску в дизелі супроводжується вібрацією та перегріванням двигуна. Крім того, збільшуються витрати палива й оливо, а також димність і токсичність відпрацьованих газів. При збільшенні ступеня стиску зменшується час затримки самозаймання палива, знижуються швидкість зростання тиску, питома витрата палива, робота дизеля стає повільною та м'якою і поліпшуються пускові якості. Проте процес залежить не тільки від конструктивних особливостей дизельного двигуна, а й від властивостей самого палива.

Прокачування палива, робота паливного насоса, зношування прецизійних пар і форсунок, для яких паливо одночасно є й *мастилом*, тонкість розпилення та повнота згорання палива, його витрати, склад відпрацьованих газів великою мірою залежать від в'язкості дизельного палива, його низькотемпературних властивостей, наявності механічних домішок і води.

В'язучі властивості. Вони характеризуються густиною, в'язкістю та поверхневим натягом палива.

За *густиною* дизельні палива різняться мало (коливання при 20 °С не виходить за межу 830...860 кг/м³).

Поверхневий натяг при 20 °С становить 25...30 нМ/м³. Однак за в'язкістю та іншими властивостями марки дизельного палива можуть мати великі розбіжності.

В'язкість дизельного палива дуже залежить від температури, тому коли говорять про в'язкість, то обов'язково зазначають, за якої температури вона визначалась. Із підвищенням температури

в'язкість дизельного палива зменшується і навпаки. В'язкість дизельного палива приблизно в п'ять разів вища від бензину.

В'язкість дизельних палив зазвичай нормується при температурі 20°C. При підвищенні температури в'язкість зменшується незначно. При зниженні температури до негативних значень в'язкість істотно зростає (таблиця 1).

Таблиця 1 – Залежність в'язкості дизельного палива від температури

Паливо дизельне	Кінематична в'язкість, мм ² /с, при температурі °С			
	+20	0	-10	-20
літнє	6,36	12,94	20,59	50,92
зимове	4,26	8,36	12,43	20,60

При значних значеннях в'язкості опір настільки зростає, що порушується нормальна подача палива і робота паливного насоса. Тому з метою попередження парафінування паливних фільтрів та значного зростання в'язкості всі тепловози обладнують паливопідігрівачами, які вмикають при зниженні температури повітря до 10 °С і нижче, тобто обмежують в'язкість в межах 6...8 мм²/с. З метою попередження зниження циклової подачі, збільшення внутрішніх витоків у насосах та форсунках, зниження тиску впорскування нижня межа в'язкості обмежується на рівні 1,5...1,8 мм²/с при температурі 20 °С.

Важливими показниками дизельного палива є його низькотемпературні властивості – температури помутніння та застигання.

Температурою помутніння називають температуру, при якій втрачається фазова однорідність палива. На вигляд воно стає мутним. При температурі 0 °С відбувається утворення кристалів льоду. Якщо паливо починає мутніти при нижчій або при більш високій температурі, то це відбувається за рахунок виділення з нього твердих парафінових вуглеводнів.

Паливо втрачає свою прозорість, мутніє також внаслідок виділення мікроскопічних кристалів льоду (у паливі завжди є гігроскопічна вода) й, основне, твердих вуглеводнів. З помутнінням паливо не втрачає рухливості. Кристали мають такі розміри, що проходять крізь елементи фільтрів грубої очистки,

але можуть частково або повністю закупорити пори фільтрів тонкої очистки і порушити подачу палива до насосів і форсунок.

Температура застигання дизельного палива практично значення не має у зв'язку з тим, що його подача припиняється вже за температури помутніння палива. Нормальна робота дизеля можлива за умови, коли температура застигання палива на 5...10 °С нижча, ніж температура навколишнього повітря, або коли вона на 3...5 °С нижча від температури його помутніння.

Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива з нього (при виготовленні) видаляють парафін, додають присадки, що зменшують температуру кристалізації, полегшують фракційний склад і зменшують його в'язкість.

Процес видалення парафіну з палива, який дістав назву *депарафінізації*, полягає у виморожуванні з нього парафіну – дуже складний та знижує цетанове число палива. Тому депарафінізацію використовують тільки для виготовлення арктичних сортів дизельного палива.

Простіший і дешевший спосіб поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива полягає у застосуванні депресорних присадок, які зменшують температуру його застигання на 10...15 °С, але температура помутніння палива при цьому майже не змінюється.

Фракційний склад дизельного палива. Для нормальної роботи дизеля велике значення має утворення рівномірної паливно-повітряної суміші в циліндрі двигуна, для чого важлива не лише якість розпилювання палива форсункою, але і швидкість його випару.

Випаровуваність дизельного палива характеризується його фракційним складом. Велике значення має швидкість випару. Проте значне переважання в паливі легких фракцій негативно позначається на процесі згорання, викликає жорстку роботу.

Паливо, що складається з важких фракцій, повільніше випаровується, не повністю згорає (димний випуск), забруднює двигун відкладеннями нагару й закоксує розпилювачі форсунки. Таким чином, для двигунів тепловозів потрібне дизельне паливо деякого середнього фракційного складу, у якого немає легких і важких фракцій, що дають неповне згорання.

Показники такі, як коксовність, зольність, кислотність, механічні домішки, наявність води, наявність сірки мають таку дію, як і в бензині, і мають регламентовані величини. Наприклад, дизельне паливо, що застосовується у двигунах тепловозів, має мінімальну схильність до утворення коксу, а зольність допускається в межах не більше 0,02 %; допустима кислотність палива – не вище 5мг КОН на 100 мл. Недопустима також наявність в паливі води, оскільки вона викликає корозію паливної апаратури.

Нині дизельне паливо виготовляють в основному з нафти, що містить багато сірчаних сполук (запаси малосірчаних нафт обмежені). При перегонці нафти одержують газойлеві та солярові дистиляти з вмістом сірки до 1,0...1,3 %. Багато сірки є і в дизельному паливі. Тому його корозійна дія оцінюється наявністю в ньому сірки та кислотністю.

Уміст сірки та сірчаних сполук у дизельному паливі в 4...10 разів більший, ніж у бензинах, що спричинює інтенсивне зношування циліндропоршневої групи. В сучасному дизельному паливі за різними стандартами вміст сірки нормується від 0,05 до 1,0 %.

Дизельне паливо із сумарним вмістом сірки не більше як 0,2 % не ускладнює роботу двигуна, тому його можна використовувати без обмежень. Однак, при переробці сірчаних нафт цю норму витримати не вдається, тому допускається випуск палива з вмістом сірки до 0,5 %.

Відомо, що підвищення вмісту сірки в дизельному паливі з 0,2 до 0,6 % призводить до збільшення зношування гільз циліндрів і поршневих кілець у середньому на 15 %, а до 1 % — у 1,5 рази. Ступінь впливу сірчаної корозії на двигуни різних конструкцій залежить від їхньої теплонапруженості.

Щільність дизельного палива коливається в межах 830... 880 кг/м³ і її величину вписують в маршрут машиніста при наборі палива. Це необхідно тому, що питомі показники витрати палива нормуються у кілограмах віднесених до десяти тисяч тонокілометрів брутто (кг/10⁴ ткм брутто), кілограмах віднесених до кіловатгодин (кг/кВт·год), а витрати при екіпіруванні підраховуються у літрах (дм³).

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, дістав назву *йодного числа*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число не має перевищувати 6 г на 100 г палива. Чим більше йодне число, тим більше олефінів міститься в паливі і тим гірше воно за якістю. Олефіни при зберіганні та транспортуванні окислюються з виділенням смол, які порушують систему живлення і збільшують нагароутворення.

2 Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив

Основними виробниками українського дизельного палива є Кременчуцький НПЗ і Шебелинський ГПЗ. Ввезення дизельного палива для продажу на українському ринку здійснюється головним чином з Білорусії, Польщі, Росії, Литви, а також з країн Чорноморського та Середземноморського регіонів (Румунії, Болгарії).

Якість дизельного палива відповідає стандартам – ДСТУ 3868-99, ДСТУ 4840:2007 і ДСТУ 7688:2015. ДСТУ 7688:2015 «Дизельне паливо Євро. Технічні умови» введено в дію з 01.01.2016 р. Цей стандарт скасовує з 01.07.2016 р. дію усіх попередніх стандартів та технічних умов.

Нафтопереробні заводи України виробляють за ДСТУ 3868-99 дизельне паливо двох марок:

Л (літнє) - для експлуатації дизелів за температури навколишнього повітря не нижче -5°C ; З (зимове) - для експлуатації за температури не нижче -15°C (таблиця 2).

За вмістом сірки дизельні палива поділяються на чотири види:

- I - масова частка сірки не більше як 0,05 %, (500 мг/кг);
- II - масова частка сірки не більше як 0,10 %, (1000 мг/кг);
- III - масова частка сірки не більше як 0,2 %, (2000 мг/кг);
- IV - масова частка сірки не більше як 0,5%, (5000 мг/кг).

Таблиця 2 – Характеристики дизельних палив за ДСТУ 3868-99

Показник	Норма для палива марки	
	Л	3
Цетанове число, не менше	45	45
Фракційний склад: 50 % палива переганяється за температури, °С, не вище	280	280
96 % палива переганяється за температури, °С, не вище	370	370
Кінематична в'язкість за температури 20°С, мм ² /с, в межах	3...5	1,8...6,0
Температура застигання, °С, не вище	-10	-25
Температура займання в закритому тиглі, °С, не нижче, для:		
тепловозних, суднових дизелів і газових турбін	62	40
дизелів загального призначення	40	35
Масова частка сірки, %, не більше, в паливі виду:		
I	0,05	0,05
II	0,10	0,10
III	0,20	0,20
IV	0,50	0,50
Масова частка меркаптанової сірки, %, не більше	0,01	0,01
Вміст сірководню	Відсутній	
Випробування на мідній пластинці	Витримує	
Концентрація фактичних смол, мг на 100 см ³ палива, не більше	40	30
Кислотність, мг КОН на 100 см ³ палива, не більше	5	5
Йодне число, г йоду на 100 г палива, не більше	6	6
Зольність, %, не більше	0,01	0,01
Коксівність 10 %-го залишку, %, не більше	0,30	0,30
Коефіцієнт фільтрації, не більше	3	3
Гранична температура фільтрації, °С, не вище	-5	-15
Вміст механічних домішок	Відсутній	
Вміст води	«	
Густина за температури 20°С, кг/м ³ , не більше	860	840

Приклади умовного позначення палив за ДСТУ 3868-99:

«Паливо дизельне Л-0,1-40 ДСТУ 3868-99» означає, що це літнє паливо з масовою часткою сірки 0,1 % і температурою займання 40 °С.

«Паливо дизельне З-0,1(-25) ДСТУ 3868-99» означає, що це зимове паливо з масовою часткою сірки 0,1 % і температурою застигання -25 °С.

Дизельне паливо за ДСТУ 4840:2007 екологічного класу Євро 4 відповідає загальним технічним вимогам, встановленим у європейських стандартах EN 590:2009. За вмістом сірки дизельні палива ділять на два види:

I - вміст сірки не більше ніж 10 мг/кг, (0,001 %);

II - вміст сірки не більше ніж 50 мг/кг, (0,005 %).

Залежно від умов використання встановлюють такі марки та класи дизельного палива:

а) для експлуатування в умовах помірного клімату:

марка А - гранична температура фільтрованості не вище ніж 5 °С;

марка В - гранична температура фільтрованості не вище ніж 0 °С;

марка С - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 5 °С;

марка D - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 10 °С;

марка Е - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 15 °С;

марка F - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 20 °С.

б) для експлуатування в умовах арктичного клімату:

клас 0 - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 20 °С;

клас 1 - гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 26 °С.

Умовна позначка дизельного палива охоплює його марку або клас залежно від граничної температури фільтрованості. Приклад позначки:

- для помірного клімату «Паливо дизельне підвищеної якості (Євро) марки С виду I згідно з [ДСТУ 4840:2007](#)»;

- для арктичного клімату «Паливо дизельне підвищеної якості (Євро) класу 1 виду II згідно з [ДСТУ 4840:2007](#)».

Дизельне паливо за ДСТУ 7688:2015 екологічного класу Євро 5 відповідає загальним технічним вимогам, встановленим у європейських стандартах EN 590:2013.

За кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива:

Л - літнє, що використовують за температури повітря не нижче ніж 5 °С;

З - зимове, що використовують за температури повітря від 5 °С до мінус 20 °С;

Арк - арктичне, що використовують за температури повітря нижче ніж мінус 20 °С.

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи дизельного палива: Євро3, Євро4, Євро5.

За фізико-хімічними та експлуатаційними показниками паливо повинне відповідати вимогам, зазначеним в таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристики дизельних палив за ДСТУ 7688:2015

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арк	
1	2	3	4	5
1 Цетанове число, не менше	51	49	48	Згідно з ГОСТ 3122, ДСТУ ISO 5165 та ДСТУ-Н 7622, або ASTM D 613, або EN 15195, або EN 16144
2 Цетановий індекс, не менше	46,0			Згідно з ДСТУ ISO 4264 або ГОСТ 27768, або ASTM D 4737
3 Густина за температури 15 °С, кг/м ³ , у межах	820-845	800-845	800-840	Згідно з ДСТУ EN ISO 3675, або ДСТУ ISO 12185, ДСТУ ГОСТ 31072, або ASTM D 1298, або ASTM D 4052

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
4 Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше: Євро5 Євро4 Євро3		8 11 11		Згідно з ДСТУ EN 12916 або EN 12916
5 Вміст сірки, мг/кг, не більше: Євро5 Євро4 Євро3		10 50 350		Згідно з ДСТУ ISO 20846, або ДСТУ ISO 20846, або EN ISO 20884, або EN ISO 13032
6 Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче: Євро5 Євро4 Євро3		55 55 40		Згідно з ДСТУ ISO 2719, або ГОСТ 6356, або ASTM D 93, або EN ISO 2719
7 Коксованість 10-відсоткового залишку, % (мас.), не більше		0,30		Згідно ДСТУ EN ISO 10370, або ГОСТ 19932, або ГОСТ 8852, або ASTM D 189, або ASTM D 524, або EN ISO 10370
8 Зольність, % (мас.), не більше		0,01		Згідно ДСТУ EN ISO 6245, або ГОСТ 1461, або ASTM D 482
9 Масова частка води %, (мг/кг), не більше		0,02 (200)		Згідно з ДСТУ ISO 12937, або ГОСТ 2477
10 Масова частка домішок, мг/кг, не більше		24		Згідно з ДСТУ EN 12662, або ГОСТ 6370
11 Корозія мідної пластинки (3 год за температури 50 °С) клас, не більше		1		Згідно з ДСТУ EN ISO 2160, або ГОСТ 6321, або ASTM D 130

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
12 Окиснювальна стабільність, - г/м ³ , не більше або - год, не менше		25 20		Згідно з ДСТУ ISO 12205, або ДСТУ 7684, або ASTM D 2274, або EN 15751
13 Змащувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60 °С, мкм, не більше		460		Згідно з ДСТУ ISO 12156-1
14 Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с, у межах	2,00-4,5	1,5-4,0	1,5-4,0	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33, або ASTM D 445, або EN ISO 3104
15 Фракційний склад: - за температури 250 °С випаровується, % (об.), не більше - за температури 350 °С випаровується, % (об.), не менше - 95 % (об.) переганяється за температури, °С, не вище		65 85 360		Згідно з ГОСТ 2177 (метод А), або ДСТУ ISO 3924, або ASTM D 86, або EN ISO 3405
16 Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот, %, - для дизельних палив В0 - для дизельних палив В5 - для дизельних палив В7		0 не більше 5		Згідно з ДСТУ EN 14078, або EN 14078
				понад 5 та не більше 7

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
17 Гранична температура фільтрованості, °С, не вище	-5	-20	-30	Згідно з ДСТУ EN 116, або ГОСТ 22254, або EN 16329
18 Температура помутніння, °С, не вище	-	-	-20	Згідно з ГОСТ 5066 (метод Б), або ДСТУ ISO 3015, або ASTM D 2500
19 Вміст марганцю, мг/дм ³ , не більш	-	-	2,0	Згідно з EN 16576

Умовна позначка дизельного палива містить:

- літери ДП (позначення дизельного палива);
- літерне позначення марки (Л, З, Арк);
- символ екологічного класу (Євро3, Євро4, Євро5);
- символ визначення вмісту (об'ємної частки) метилових/етилових естерів жирних кислот (В0 - у разі їх відсутності; В5 - не більше ніж 5 %; В7 - понад 5 % та не більше ніж 7 %).

Приклад позначки дизельного палива літнього екологічного класу Євро4 з вмістом метилових/етилових естерів жирних кислот понад 5 % та не більше ніж 7 %:

«Паливо дизельне ДП-Л-Євро4-В7 згідно з ДСТУ 7688:2015».

Позначка палива може містити торгову марку (товарний знак) виробника.

Приклад позначки дизельного палива торгової марки «XXX» арктичного екологічного класу Євро3 без вмісту метилових/етилових естерів жирних кислот:

«Паливо дизельне XXX-ДП-Арк-Євро3-В0 згідно з ДСТУ 7688:2015».

3 Асортимент зарубіжних дизельних палив

Європейський стандарт EN 590 діє в країнах ЄЕС з 1996 р. Стандарт передбачає випуск дизельних палив для різних кліматичних регіонів.

Для районів з помірним кліматом, згідно зі стандартом EN 590, виробляють шість марок дизельного палива: А, В, С, Д, Е і F з граничною температурою фільтрування, °С, відповідно 5; 0; -5; -10; -15 і -20.

Для районів з холодним кліматом цим самим стандартом передбачено випуск п'яти класів дизельного палива з такими низькотемпературними властивостями:

Клас	0	1	2	3	4
Температура, °С, не вище:					
помутніння	-10	-16	-22	-28	-34
граничної фільтрації	-20	-26	-32	-36	-44

У таблиці 4 показана відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва.

Таблиця 4 – Відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва

Паливо за ГОСТ 305-82	Зарубіжне паливо		
	Марка	Специфікація	Країна
<i>Л</i>	№3	JIS 2204-83	Японія
	2 D	ASTM 975-83	США
3	<i>TIPA</i>	CAN 2-3.6-M-83	Канада
	<i>Special</i>	JIS 2204-83	Японія
	<i>ID</i>	ASTM 975-81	США
A	<i>TIPA A</i>	CAN 2-3.6-M-83	Канада

4 Смоло- і нагароутворення у ДВЗ

Накопичення смол і нагару на деталях двигуна залежить від конструктивних особливостей системи живлення і камери згорання, режиму роботи двигуна, а головне — від якості застосованих палив і мастильних олій.

У бензинах, як і у будь-яких нафтопродуктах, майже завжди в розчиненому стані знаходяться смолянисті і смолоутворюючі речовини. Кількість їх залежить від хімічного складу, способу отримання і якості очищення бензину. З часом, а також під дією кисню, повітря і підвищеної температури в паливі відбуваються зміни: збільшується кількість смолянистих речовин.

Смолоутворення в нагрітому бензині та на світлі відбувається швидше, ніж у холодному і в темряві. Тому бензини треба зберігати в герметичній тарі за якомога нижчої температури (краще в підземних сховищах).

Наявність у бензині води, міді, а також свинцю сприяє смолоутворенню, тобто вони є каталізаторами. Особливо швидко смоли утворюються в баках машин при тривалому зберіганні, а також влітку під дією підвищених температур.

Мінеральні кислоти й інші водорозчинні кислі сполуки дуже впливають як на чорні, так і на кольорові метали, а луги — лише на кольорові. У свіжому бензині майже не повинно бути мінеральних кислот і лугів, тобто паливо має бути нейтральним. Однак із часом кислотність бензину збільшується.

Наявність активних сірчистих сполук у паливі виявляють випробуванням на мідну пластинку, яку після ретельного очищення витримують в паливі протягом 3 год за температури 50 ± 2 °С. Максимальна кількість сірки в автомобільних бензинах — не більш як 0,1 %, в останніх — 0,05, оскільки з її підвищенням зношування деталей двигуна різко зростає. Наявність у паливі сірчаних сполук (особливо дисульфідів та меркаптанів) погіршує його стабільність і сприяє смолоутворенню.

Про наявність смол у паливі можна судити візуально за його кольором. Чим більше у паливі смол, тим інтенсивніше його забарвлення (колір бензину набуває темно-коричневих тонів). Наявність смол у паливі є великою небезпекою для двигуна. Під час роботи смоли відкладаються у карбюраторі,

а також трубопроводах, порушуючи подачу палива, що призводить до нагароутворення і зупинки двигуна. Нагар утворюється на поверхнях клапанів, зумовлюючи їх пригоряння.

Зі збільшенням кількості смол у бензині знижується, як правило, його октанове число та зростає кислотність, що спричинює значну ерозію металу.

Смоли, що знаходяться у бензині в теперішню мить, називають *фактичними*. Їх кількість визначають випарюванням бензину за певних умов. Вміст фактичних смол нормується в міліграмах на 100 мл бензину. Для різних марок бензину кількість смол знаходиться в межах 2...15 мг на 100 мл.

Смоли, накопичуючись у бензині, осідають в паливних баках, на стінках бензопроводів, в карбюраторі, зменшують прохідні перерізи отворів жиклерів, що калібруються, порушуючи нормальну роботу системи живлення. При утворенні горючої суміші важкі вуглеводні палива не випаровуються повністю, а залишаються у вигляді конденсату. Тім більше не можуть випаруватися смолянисті з'єднання, які мають велику молекулярну масу. Ці з'єднання відкладаються на стінках всмоктуючого колектора і клапанах. Особливо небезпечне накопичення смол на направляючих втулках випускних клапанів, що викликає їх зависання і пригорання та порушення робочого процесу двигуна. Найбільш інтенсивне накопичення смол відбувається на гарячих стінках трубопроводів, де смолисті речовини поступово ущільнюються і утворюють тверді нагаровідкладення, які зменшують площу перерізу трубопроводу, викликаючи тим самим зниження потужності і економічності двигуна. Відкладення нагару на поверхні камери згорання може служити причиною замкнення електродів свічки.

Дизельне паливо, що містить значну кількість смолянистих з'єднань, не в змозі повністю згоріти, що сприяє накопиченню нагару.

Нагаровідкладення накопичуються на клапанах і голівці поршня, в камері згорання, на соплах форсунок і у вихлопній

системі. Вони викликають швидкий знос деталей циліндропоршневої групи, пригорання поршневих кілець і клапанів, погіршення розпилу палива, знижують, а іноді і припиняють його подання в циліндр двигуна. При підвищенні нагаровідкладень погіршується відведення теплоти та відпрацьованих газів, що призводить до перегрівання двигуна і падіння його потужності.

До складу нагару входять вуглецеві продукти (92...96 %) - кокс, смолянисті речовини, олія і негорюча частина (4...6 %) - кремній, залізо, свинець та ін. В нагарі можуть бути наявними сірка (при роботі двигуна на сірчистому паливі), а також інші речовини, що потрапляють в камеру згорання з паливом, повітрям або з олією.

Вплив властивостей дизельного палива на утворення відкладень у двигуні оцінюють коксівністю, зольністю та йодним числом.

***Коксівність* — це здатність нафтопродукту утворювати кокс під час згорання. Коксівність оцінюється коксовим числом.**

***Коксове число* характеризує здатність палива утворювати вугільний залишок за високотемпературного (800...900 °С) розкладання палива без доступу повітря. Коксівність палива залежить від хімічного складу і наявності в ньому продуктів окисної полімеризації, а також від кількості вуглеводнів, що мають низьку термоокисну стабільність. Коксівність дизельного палива має бути не більшою за 0,3 %, а палива підвищеної якості — не більшою за 0,035 %.**

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, дістав назву *йодного числа*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число має не перевищувати 6 г на 100 г палива.

Схильність палива до лакоутворення оцінюють за вмістом лаку в міліграмах на 100 мл палива, для чого випаровують невелику кількість палива у спеціальному лакоутворювачі при температурі 250 °С.

Зольність палива характеризує вміст в ньому домішок, що не згорають. Наявність золи підвищує нагароутворення. Зола, яка потрапляє в олію, викликає прискорений знос деталей. Допустимий вміст золи в дизельному паливі 0,01... 0,02 %.

Інтенсивність утворення нагару залежить від властивостей палива, наявності в ньому сірки, смол, золи, а також навантаження і температурного режиму двигуна.

Вплив сірки на утворення нагару пов'язаний з більш ефективним процесом окисної полімеризації вуглеводнів у присутності сполук сірки, в тому числі продуктів її згорання.

Вміст сірки в паливі також впливає на утворення відкладень. Чим вище її вміст в паливі, тим більше нагару і лаку утворюється при його згоранні. Сірчисті з'єднання, які накопичуються в нагарі, підвищують його щільність. Схильність до нагароутворення зростає при збільшенні вмісту в дизельному паливі ароматичних вуглеводнів.

Наявність меркаптанів, сприяючи утворенню смол поряд зі смолами з олефінів та фактичними смолами, які є у паливі, призводить до осадження на запірних голках лакової плівки (з часом це зумовлює зависання голок розпилювача форсунок). Сірка у паливі шкідлива тому, що при роботі двигуна на сірчистому паливі утворюється більше нагару, інтенсифікується процес старіння олії.

Розрізняють дві фази відтворення нагару : його зростання і рівноважний стан. Збільшення нагару до граничного значення за товщиною залежить від температурних умов, якості палива, оливи і складу суміші. Закінчується ця фаза досить швидко. Після того, як шар нагару за висотою досягне граничної величини, яка залежить від теплового режиму двигуна, збільшення товщини нагару припиняється і настає фаза рівноважного стану. При цьому нагар, що знову утворюється, вже не накопичується на деталях, а вигорає і разом з продуктами згорання виноситься у випускний тракт.

Вміст смолистих речовин в дизельних паливах оцінюється так само, як і у бензинах, визначенням вмісту фактичних смол. З підвищенням вмісту фактичних смол в дизельному паливі схильність до нагароутворення зростає. Одна з вимог до якості

дизельного палива – вміст фактичних смол не повинен перевищувати 36...60 мг на 100 мл. Фактичні смоли, що є в дизельному паливі – це домішки, які залишилися після очищення базових дистилатів.

Наявність смол у паливі також збільшує нагар і закоксованість кілець. Тому кількість їх у паливі суворо обмежується стандартом. Проте на утворення нагару в камері згоряння впливають не тільки смоли, а й фракційний склад палива та в'язкість і, як наслідок, погане розпилювання палива, неповне його випаровування та згоряння, що призводить до утворення високотемпературних відкладень, продукти яких осідають на деталях двигуна.

На процес нагароутворення впливають також якість неорганічних домішок, стабільність палива і наявність в ньому неграничних вуглеводнів. Про кількість останніх судять за водневим числом. Найбільше на цей процес впливає на зниження тиску впорскування, через що різко погіршується якість розпилювання палива. Ось чому не рекомендується тривала робота дизелів на малих обертах та холостому ході.

Внаслідок окиснення олефінів при транспортуванні та зберіганні дизельного палива кількість фактичних смол у ньому збільшується, що погіршує нормальну роботу системи живлення двигуна. Якщо смоли потрапляють у камеру згоряння, утворення нагару на деталях двигуна збільшується, що погіршує його економічні та тягові показники.

5 Поліпшення якості нафтових палив

Для поліпшення показників бензину і дизельного палива до них можуть бути додані спеціальні присадки (перекис тетраліну, перекис ацетила, хлор та ін.). Добавка незначної кількості цих речовин в паливі усуває окремі його недоліки.

Присадки — це речовини, які додаються до нафтопродукту (палива або мастильного матеріалу) для надання йому спеціальних властивостей або підсилення природних.

Присадки можна поділити на чотири групи:

- які поліпшують процес згоряння палива - антидетонатори, протидимні (зменшують нагароутворення й скорочують затримку самозаймання);

- які сприяють збереженню первинних показників якості палива – антиокиснювальні, диспергуючі (перешкоджають осаджуванню на деталях двигуна твердих продуктів з палива), діактиватори металів;

- які зменшують шкідливу дію палива на паливну апаратуру - протизношувальні, антикорозійні;

- які полегшують експлуатацію двигуна за низьких температур - депресорні (знижують температуру застигання палив) та присадки, що перешкоджають виділенню кристалів льоду та парафіну.

До бензинів найчастіше додають антидетонаційні та антиокиснювальні присадки. Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельних палив виконують їх часткову депарафінізацію і додають спеціальні присадки (депресори). Температуру застигання можна знизити введенням депресорної присадки (наприклад, АзНИИ-ЦИАТИМ-1).

Існують присадки, які дозволяють підвищити цетанове число дизельного палива. До числа таких присадок відносяться хлорпикрин, аміннітрат, перекис ацетилу, перекис ацетону, етилнітрат та ін. Є також присадки, які покращують пускові властивості дизельного палива і знижують температуру його застигання. Найбільш відомим представником таких присадок є етиловий ефір.

З метою додаткового поліпшення процесів згорання, зменшення шкідливих викидів, зниження нагаровідкладення на деталях циліндропоршневої групи і розпилювачах форсунок застосовуються паливні присадки: СП-2, НТ-204У, ВНИИ НП-101 (Росія), F-11 (Франція), Перолин-622ДЕ, Dodiflow 3905 (ФРН), Dipetane (Ірландія), Адизоль Т-4 (Росія, Фінляндія) та ін. Досвід їх використання показує, що додавання до 1 % присадки в паливо дозволяє досягти економії дизельного палива до 10 %, понизити викид оксидів вуглецю на 20 % і оксидів азоту на 10...15 %.

Руйнівну дію кислот нейтралізують доданням у дизельне паливо антикорозійних присадок, з яких найефективнішим є нафтенат цинку (0,23...0,3 %). Дизельне паливо з умістом сірки

більш як 0,2 % використовують тільки за умови, якщо двигун працює на оливі з антикорозійною присадкою.

Багатофункціональна присадка GASOLINE TREATMENT до бензину рекомендується для використання при обкатці нових двигунів, при роботі двигуна з великими навантаженнями, а також після заміни деталей поршневої групи, клапанів, направляючих втулок та інших. Вона має такі властивості:

- очищує карбюратор від відкладень;
- сприяє підвищенню якості горючої суміші;
- зменшує токсичність відпрацьованих газів;
- зменшує утворення нагару в камері згорання і на клапанах;
- нейтралізує дію води;
- змащує клапани і верхню частину циліндра.

Відомі спеціальні присадки (добавки) для поліпшення певної властивості. Присадка BIG BOOST CETANE LUB K&W KW 5332 (фірма AGA) підвищує цетанове число від 2 до 6 одиниць, залежно від якості дизельного палива, тобто зменшує жорсткість роботи двигуна. Подібна дія присадки OCTANE GAS BOOSTER PRIZE PENN 403405 (фірма AGA). Вона підвищує октанове число бензину на 4...6 одиниць, підтримує бензобак в чистоті, очищує паливну систему. Кисневмісна добавка ТУРБО-ОКТАН 115 підвищує октанове число бензину, усуває детонацію, зменшує токсичні викиди за рахунок ефективного згорання палива. Депресорна добавка до палива DIESEL ANTIFREEZE (фірми BARDAHL) полегшує запуск двигуна при низьких температурах, покращує плинність дизельного палива, знижує температуру точки замерзання палива, покращує фільтрацію і запобігає утворенню відкладень у фільтрах і системах впорскування.

Таку ж дію чинить присадка DRY FUEL+PLUS+ і Аспект-модифікатор, які зв'язують і нейтралізують воду, що запобігає її замерзанню в паливній системі, попереджає корозію, покращує екологічні показники двигуна.

На тепловозах залізниць України широко застосовувалася багатофункціональна присадка палив «Адізоль Т-6» (анамегатор) науково-виробничого підприємства «ADIOZ». Ця депресорна присадка покращує низькотемпературну плинність палива за рахунок дроблення кристалів парафіну на дрібнозернисті

частинки. Полегшується так само пуск холодного двигуна за рахунок утворення перекисів у паливі, сприяє повнішому згоранню, зниженню питомої витрати палива.

На сьогодні відомо близько п'ятдесяти типів присадок до палива. Їх світовий асортимент налічує декілька десятків тисяч товарних марок. Частково асортимент присадок, здебільше до дизельного палива, наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Асортимент присадок до палив

Тип присадки	Паливо	Концентрація, %	Приклад активного компонента	Призначення
1	2	3	4	5
Модифікатори займання				
<i>Антидетонатори</i>	<i>Бензини</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Металорганічні з'єднання свинцю, заліза і марганцю; органічні сполуки лужних металів</i>	<i>Запобігають передчасному займанню бензину в двигунах з примусовим займанням</i>
<i>Промотори займання</i>	<i>Дизельні палива</i>	<i>0,05-0,5</i>	<i>Алкілнітрати, алкілпероксиди</i>	<i>Підвищують цетанове число палив за рахунок створення вільних радикалів, що ініціюють самозаймання</i>
Модифікатори горіння				
Антидимні	Дизельні і палива	0,05-0,2	Паливорозчинні з'єднання барію, заліза, марганцю й інших металів	Прискорюють вигорання сажі на останніх стадіях процесу горіння палива. Замінюються на миючі

Тип присадки	Паливо	Концентрація, %	Приклад активного компонента	Призначення
1	2	3	4	5
Антисажові	Дизельні палива	0,001-0,05	Паливорозчинні з'єднання заліза, міді, цезію й інших металів	присадки Перешкоджають забрудненню фільтрів сажі, що знижує температуру вигорання сажі до температури відпрацьованих газів

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
Антинагарні	Дизельні палива	0,05-0,1	Термостійкі ПАР у поєднанні з каталізаторами горіння і модифікаторами нагару	Перешкоджають утворенню нагару в камері згорання, запобігають закоксуванню поршневих кілець
Ініціатори горіння	Бензини і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР з добавками малих кількостей беззольних промоторів горіння: нітратів, пероксидів	Інтенсифікують процес горіння палива
Стабілізатори				
Стабілізатори комплексного типу	Дизельні палива	0,01-0,05	Композиції антиоксидантів, деактиваторів металів, нейтралізуючих агентів і диспергаторів	Запобігають смоло- і осадоутворенню в результаті окислення і інших реакцій ущільнення

Киснепоглинаючі	Реактивні і дизельні палива	0,01-0,05	Гідразин	Реагують з киснем, розчиненим в паливі, утворюючи неактивні з'єднання
Диспергуючі	Реактивні і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР: сульфонати, аліфатичні аміни, сукцініміди, основи Манніха алкілфенолів	Диспергують смолянисті з'єднання, переводять в розчин осадів і відкладення, які випали

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
Миючі				
<i>Очисники впускних клапанів (у двигунах інжекторного типу)</i>	<i>Бензини</i>	<i>0,05-0,1</i>	<i>Полібутенаміни, поліефіраміни</i>	<i>Запобігають утворенню відкладень в карбюраторі і на поверхні впускних клапанів двигунів з безпосереднім впускуванням бензину</i>
<i>Очисники розпилювачів форсунок (у двигунах інжекторного типу)</i>	<i>Дизельні палива</i>	<i>0,05-0,1</i>	<i>Сукцініміди; оксіетильовані алкілфеноли</i>	<i>Запобігають утворенню коксу на розпилювачах форсунок, що зберігає їх оптимальні гідравлічні характеристики</i>
Присадки для експлуатації палив при низьких температурах				
<i>Депресорні</i>	<i>Дизельні і залишкові палива</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Сополімери олефінів з вінілацетатом; поліакрилати</i>	<i>Запобігають зростанню кристалів парафінів і утворенню просторової</i>

<i>Диспергатори парафінів</i>	<i>Дизельні палива</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Азотвмісні ПАВ різної будови; високомолекулярні полімери</i>	<i>структури. Використовуються спільно з диспергаторами парафінів Диспергують парафіни, запобігаючи початку їх кристалоутворення. Забезпечують стабільність дизельних палив в умовах холодного зберігання</i>
<i>Антиобледенільні</i>	<i>Бензини і дизельні палива</i>	<i>0,01-0,05</i>	<i>ПАР різного складу, зокрема миючі присадок</i>	<i>Запобігають обмерзанню, паливної апаратури, утворюючи на поверхні захисну плівку.</i>
<i>Противодокристалізуючі</i>	<i>Реактивні і інші види палива</i>	<i>0,5-2,0</i>	<i>Спирти; целозольви</i>	<i>Утворюють низькозамерзаючі суміші з водою, яка розчинена в паливі</i>
Модифікатори тертя				
<i>Протизносні</i>	<i>Бензини, реактивні і дизельні палива</i>	<i>0,01-0,1</i>	<i>Карбонові кислоти і їх похідні, жир</i>	<i>Утворюють на поверхні тертя плівку, що захищає її від зносу</i>
<i>Антифрикційні (паливо -</i>	<i>Бензини і дизельні палива</i>	<i>0,01-0,05</i>	<i>З'єднання молибдену, ПАР</i>	<i>Підвищують механічний ККД двигуна за</i>

<i>зберігаючи)</i>				<i>рахунок зниження втрат на тертя.</i>
Припра- цьовачні	Дизельні палива	0,05-0,2	З'єднання алюмінію, хрому і інших металів, продукти згорання яких мають абразивну і поліруючу дію	Прискорюють обкатку двигунів і паливної апаратури

Продовження таблиці 5

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Антикорозійні</i>				
Антиржа- віючі (захисні)	Усі види палив	0,005 - 0,05	Похідні алкенілянтарного ангідриду, аміді і комплексні солі сульфокислот.	Зменшують електрохімічну корозію металів на межі розділу баз паливо - повітря, паливо - вода
Антико- розійні (низькоте- м- пературна корозія)	Усі види палив	0,0005 - 0,005	Речовини, що нейтра- лізують продукти згорання сірчистих з'єднань; ПАР, що перешкоджають попаданню агресивних продуктів на поверхні	Знижують хімічну корозію, що викликана агресивними продуктами згорання палива або продуктами гідролізу компонентів палив і присадок
<i>Модифікатори колоїдно-хімічних властивостей</i>				
<i>Диспер- гуючі</i>	<i>Залишк о- ві палива</i>	<i>0,05- 0,2</i>	<i>Діалкілнафталіни , ПАР різної природи</i>	<i>Запобігають розши- руванню палива при зберіганні і покращують його</i>

<i>Діемульга-тори</i>	Дизельні залишки палива	0,005-0,01	Оксіетилованні спирти, кислоти й інші ПАВ	<i>розпилювання. Прискорюють відділення води від палива. Вимагають відстою.</i>
<i>Загущуючі</i>	Дизельні з газових конденсатів	0,05-0,3	Поліметакрилати	<i>Збільшують в'язкість дизельних палив, що отримуються з газових конденсатів, і тим самим покращують їх мастильні властивості</i>

6 Альтернативні види палива

Останнім часом, після декількох енергетичних і економічних криз, у світі посилився інтерес до пошуку так званих альтернативних видів палива для ДВЗ. При цьому мається на увазі альтернатива саме рідкому нафтовому паливу, запаси якого обмежені і ціна на яке росте швидше за ціни на інші види палива.

На даний час нафта є чи не єдиним джерелом для виробництва моторних палив - близько 50 % добутої нафти іде на зазначені потреби. До того ж транспорт, який працює на нафтовому паливі, є наймасовішим забруднювачем навколишнього середовища викидами відпрацьованих газів (суміші продуктів згоряння та вуглеводів, що не згоріли, та наддувного повітря), шкідливих речовин з систем живлення паливом, змащення та вентиляції картерів двигунів. Економія нафтових палив є актуальною для України ще й тому, що вона є країною-імпортером – близько 11 млн т нафти імпортується.

Саме у такому плані - пошуку використання більш екологічно чистого, дешевого, менш дефіцитного палива — слід розглядати проблему альтернативних видів палива і нових джерел енергії.

Головними вимогами до альтернативних видів палива є такий рівень фізико-хімічних властивостей, який би забезпечив можливість застосування цих палив без суттєвої зміни конструкції двигуна та паливної системи, а також збільшення економічної ефективності та покращення екологічних показників роботи двигуна.

Але у будь-якому разі переобладнання двигунів транспортних засобів на роботу на альтернативних видах палива приведе до певних капітальних витрат, у тому числі на інфраструктуру, але повинне позитивно позначитися на експлуатаційних витратах і екологічних показниках роботи двигунів.

Загальна класифікація альтернативних видів палива наведена на рисунку 2.



Рисунок 2 - Класифікація альтернативних видів палива

Найближчою альтернативою дизельному паливу для тепловозів вважається природний газ, за використанням якого на тепловозах вже отримані позитивні результати. Для транспортних цілей можливо використання природного газу в двох станах: зрідженому і стислому.

Зріджені нафтові гази одержують як побічний продукт при деструктивній переробці нафти (близько 30 % від виходу бензину) і супутнього нафтового газу. Основними компонентами

цих газів є пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), їх похідні і суміші в різних пропорціях та природний газ метан (CH_4).

У порівнянні з нафтовим паливом зріджений газ має такі переваги:

- в 1,5...2 рази дешевше;
- більш висока детонаційна стійкість (октанове число ≈ 105), за рахунок чого можна застосовувати більш високі ступені стискання і, як результат, підвищити потужність та економічність двигуна;
- двигун на ньому працює м'якше, ресурс збільшується приблизно в 1,5 разу;
- термін служби моторної оливи зростає в 2...2,5 разу;
- практично не містить сірки, яка викликає корозію деталей і їх знос;
- знижує токсичність відпрацьованих газів (за оксидом вуглецю - в 3...4 рази, за оксидом азоту - в 1,2...2 рази, за вуглеводнем - в 1,3...1,9 рази);
- не накопичує смолянисті відкладення, оскільки нафтовий газ розчиняє їх.

За дослідницьким методом октанове число пропану становить 120, а бутану - 93. Це забезпечує форсування двигунів техніки зі ступенем стиснення до 8,5...9 та дає змогу збільшити їх потужність. Але при переведенні двигуна на зріджений газ потужність падає на 3...4 %.

У 80-ті роки минулого століття були розпочаті роботи з переобладнання дизелів тепловозів до роботи на природному газі, запас якого в зрідженому стані зберігається в спеціальних ізотермічних місткостях завдяки збереженню низької температури (близько мінус 160 °С). Двосекційний тепловоз 2ТЕ116 був оснащений третьою, проміжною криогенною секцією і отримав позначення 2ТЕ116Г (виготовлений Луганським тепловозобудівним заводом). Проте економічні і політичні події не дали можливості завершити ці роботи до кінця.

Нині зріджений газ застосований на газотурбовозі ГТ1 з ГТД потужністю 8300 кВт за замовленням ВАТ РЖД для водіння вантажних потягів підвищеної довжини і маси.

Більший досвід роботи дизелів тепловозів на стислому газі. Науково-дослідні роботи виконувалися у ВНДІЗТ (з поданням

стислого газу в повітряний ресивер) і в ХПТі, нині УкрДУЗТ (з поданням стислого газу безпосередньо в камеру згорання дизеля) на маневрових тепловозах ТЕМ 2У. Обидва варіанти дали позитивні результати і Брянський машинобудівний завод освоїв випуск маневрових тепловозів ТЕМ18Г. Муромським заводом була випущена дослідна партія маневрових тепловозів малої потужності (314 кВт), які оснащені спеціальним візком з двома контейнерами з газовими балонами. У газодобувній промисловості широко використовується газ як паливо для стаціонарних дизелів 11Д100 виробництва заводу ім. В. А. Малишева (м. Харків).

Проходить випробування 2-х секційний маневровий газотурбовоз, оснащений газотурбінним двигуном ГТД 1000 та електричною передачею потужності. Друга секція є тяговим бустером і сховищем стислого природного газу. На бустері встановлено 48 балонів з тиском 25 МПа, що вміщують близько 3000 кг метану, якого вистачає для роботи в маневровому режимі близько семи діб.

Значно ширше природний газ застосовується на автомобільному транспорті. Для автомобільних двигунів за ГОСТ 27578-87 («Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия») випускаються два види палива (таблиця 6):

- ПА - пропан автомобільний, який застосовується взимку при температурі повітря $-20 \dots -35 \text{ }^\circ\text{C}$;

- ПБА - пропан-бутан автомобільний, який застосовують за температури повітря вище $-20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для використання зріджених газів як моторне паливо достатньо встановити на машину тонкостінний балон (об'ємом до 250 л і робочим тиском 1,57 МПа), змішувач, редуктор-дозатор та паливовипаровувач для випаровування газу. Переобладнаний двигун може також працювати і на бензині (в разі повної витрати газу або в разі важкого запуску двигуна при низьких температурах).

Зріджені гази не мають кольору і запаху, знайти їх витік практично неможливо, тому в ці гази додають спеціальні речовини — одоранти. Найчастіше як одорант застосовують етилмеркаптан ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$), який має різкий неприємний запах.

Таблиця 6 - Характеристики зріджених газів за ГОСТ 27578-87

Показник		ПА	ПБА
Масова частка компонентів, %	пропан	90±10	50±10
	неграничні вуглеводні, не більше	6	6
Надлишковий тиск насичених парів, МПа, при температурі	+45°С, не більше	1,6	1,6
	-20°С, не менше	-	0,07
	-35°С, не менше	0,07	-
Масова частка сірководню, %, не більше		0,003	0,003
Масова частка сірки і сірчистих сполук, %, не більше		0,01	0,01
Вміст вільної води та лугів		відсутні	

Стиснені гази, що використовуються як моторні палива, одержують з родовищ природного газу (стиснений природний газ) і попутних газів нафтових родовищ (стиснений нафтовий газ). Основним компонентом цих газів є метан (СН₄), але є й інші вуглеводні (таблиця 7), а також вуглекислий газ, кисень, азот, водень та ін. Із усіх вуглеводневих газів метан містить максимальну кількість водню на один атом вуглецю і завдяки цьому він має високу теплотворність, достатньо широкі межі займистості та низький вміст токсичних речовин у продуктах згоряння.

В експлуатації гази із нафтових і газових родовищ не поділяються і мають загальну назву - стиснений природний газ.

Таблиця 7 - Вміст вуглеводнів у природних газах

Компоненти, %	Нафтовий газ	У відсотках
		Природний газ
Метан	40...82	82...98
Етан	4...20	до 6
Пропан		до 1,5
Бутан		до 1

Інтенсивне використання стисненого природного газу як моторного палива обумовлено такими його перевагами перед зрідженими нафтовими газами:

- цей газ безпечніший, оскільки він легший за повітря і при виитоках швидко випаровується;
- має меншу вартість;
- більш поширений у природі;
- відпрацьовані гази екологічно більш чисті (зменшення шкідливих речовин у викидах, особливо CO, порівняно із бензиновими двигунами може досягати 90 %).

Стиснений природний газ дозволяє на 35...40 % збільшити моторесурс двигуна за рахунок відсутності на його деталях нагару. За рахунок зменшення забруднення і розрідження подовжується в 2...3 рази термін служби моторної оливи. Висока детонаційна стійкість (октанове число в межах 102...103) забезпечує м'яку роботу двигуна і можливість форсувати двигун за ступенем стискання. За енергетичними параметрами 1 м³ природного газу прирівнюється до 1 л бензину.

Промисловістю виробляються дві марки стисненого природного газу: А і Б, які, згідно з технічними умовами ТУ 51-16.6-83, відрізняються вмістом метану та азоту.

Основний недолік природного газу як моторного палива полягає в меншій (в 1000 разів) об'ємній енергогустині в порівнянні з рідкими нафтовими паливами. Окрім цього, до недоліків природного газу слід віднести:

- виділення в атмосферу метану (природний газ дуже швидко випаровується);
- утруднення з пуском двигуна в холодну пору року, що пояснюється більш високою температурою запалювання і самозаймання природного газу (187 і 517 °С відповідно);
- зниження технічних характеристик двигуна: потужності на 18...20 %, максимальної швидкості на 5...6 %;
- збільшення часу розгону на 24...30 %;
- збільшення трудомісткості обслуговування двигунів на 7...8 %;
- підвищення вимог відносно вибухо- та пожежобезпеки.

Головним недоліком газобалонної апаратури для стиснених газів, що встановлюється на транспортний засіб, є її маса. Балон з

легованої сталі місткістю 50 л з газом під тиском 20 МПа важить 62,5 кг, а балон з вуглецевої сталі - 93 кг. Повна заправка восьми балонів, маса яких складає 14 % вантажопідйомності автомобіля, забезпечує 200...280 км пробігу. Зменшити масу балонів можна шляхом застосування легких композитних матеріалів, які в три рази менш в порівнянні зі сталевими.

Недоліком природного газу є його істотно менша величина теплоти згорання на одиницю об'єму в порівнянні з дизельним паливом. У стислому стані при тиску близько 20 МПа (ступінь стискування - 200) теплота згорання природного газу в чотири рази нижча, ніж у дизельного палива. Навіть у зрідженому стані (при температурі -162 °С) об'ємна теплота згорання природного газу складає всього 21 МДж/л проти 39 МДж/л у дизельного палива. Для отримання однієї і тієї ж роботи замість 1 кг дизельного палива необхідно витратити приблизно 3,8 кг природного газу. Ця обставина створює певні труднощі при створенні потужних транспортних засобів на природному газі, збільшуючи масу запасу палива, що перевозиться.

Проте незважаючи на те, що стислий газ, безумовно, дешевше зрідженого і використати його технічно простіше, він не може бути застосований на магістральних локомотивах. Пробіг локомотива на стислому газі обмежується розмірами місткостей для нього. Для того, щоб двигун на стислому газі мав здатність виробити ту ж кількість теплової енергії, що і дизель тепловоза, об'єм газу в резервуарах газотепловоза має бути в п'ять разів, а маса газу в них в чотири рази більше (не рахуючи маси самих резервуарів, що витримують тиск газу 20 МПа). Уявити собі товстостінний балон місткістю 40 м³ на секції тепловоза неможливо. Отже, стислий газ може застосовуватися саме на локомотивах з обмеженим радіусом дії — маневрових, таких як ТЕМ18Г, газові резервуари якого мають ємність 8 м³, або на ще менш потужних промислових. За наявності в депо парку таких газотепловозів потрібні потужні компресорні станції для забезпечення заправки тепловозів за нетривалий час. Робота локомотива на газі не виключає потреби в дизельному паливі, витрата якого може досягати 50 % від загальної витрати.

Таким чином, для магістральних локомотивів з відмічених причин може бути застосований лише зріджений природний газ,

при використанні якого виникають проблеми, які пов'язані з експлуатацією криогенної техніки, складнощами організації екіпіровки газотепловозів паливом, що має температуру мінус 160...170 °С.

Необхідність задоволення зростаючих потреб в енергії у поєднанні з дефіцитом найбільш ефективних видів моторного палива (нафти і газу) призводить у всьому світі до відродження широкого використання *кам'яного вугілля в енергетиці*.

Запаси кам'яного вугілля на земній кулі ще досить великі. Вони перевищують на порядок запаси нафти і газу. Вважають, що кам'яного вугілля людству вистачить ще на 150...200 років, тому, природно, потрібна оцінка можливостей використання цього виду палива для тяги потягів не лише за допомогою електричної енергії, виробленої на теплових електростанціях, але і безпосередньо на автономних локомотивах.

Процес отримання палива з вугілля відбувається в дві стадії:

– спочатку вугілля або смолу розтирають з важкими олівами до утворення пасти, а потім гідрують під тиском 25...70 МПа в присутності каталізатора - заліза;

– одержану пасту переганяють, а фракції з температурою кипіння понад 325 °С знову піддають гідрогенізації (гідруванню), що полягає в приєднанні водню до хімічних елементів або сполучень під впливом каталізатора (металів, оксидів). Залежно від умов проведення процесу продуктами переробки можуть бути тільки бензин або бензин, дизельне паливо і мазут.

Синтетичне рідке паливо для ДВЗ отримують синтезом із суміші водню й оксиду вуглецю, які виробляють з нафтових речовин, природних газів і вугілля. В результаті цього одержують бензин, високоякісне дизельне паливо і парафін. Синтезують також високоякісні компоненти палив (наприклад, ізооктан, алкілбензол), що підвищують антидетонаційні властивості.

Рідке синтетичне паливо отримують також із смол, які утворюються при напівкоксуванні вугілля, торфу і сланців. Отримана смола за своїм складом нагадує нафту і використовується для вироблення синтетичного рідкого палива і мастильних олів. Отримання рідкого палива із смоли робиться її перегонкою з подальшим крекінгом важких залишків. Фракції

при перегонці смоли піддають очищенню, після якого виходить товарна продукція.

Великим резервом рідкого палива є *бітумінозні дрібно- і крупнозернисті кварцові піски і піщаники*. За вмістом бітумів вони підрозділяються на три групи. Вміст бітумів у першій групі - більше 10 % (за масою), в другій - від 4 до 10 %, в третій - не більше 4 %.

Але виробництво 1 т синтетичного палива потребує від 3 до 6 т вугілля, тому це паливо поки що в 1,5...2 рази дорожче за бензин і практично не застосовується.

У зв'язку з достатнім розвитком газових двигунів внутрішнього згорання, у тому числі і на основі робіт із застосування природного газу на тепловозах, у більшості випадків спроби і способи використання кам'яного вугілля на локомотивах цих типів (тепловозах і газотурбовозах) ґрунтуються на газифікації твердого палива і спалюванні генерованого газу в локомотивних енергетичних установках, пристосованих для цього. По мірі розробленості і реальності здійснення найбільш очевидні з цих способів можна розглянути в наступній послідовності.

Газогенераторні тепловози. Цей тип автономного локомотива на твердому паливі був би найбільш реальний і доступний для здійснення і використання на залізницях країни практично сьогодні ж, оскільки є досвід створення таких тепловозів і експлуатації їх на залізницях СРСР і КНР майже 70 років тому — в 1950-х роках. Ефективність використання вугілля на газогенераторних тепловозах була помітно вище, ніж на паровозах того часу.

Проте газифікація вугілля на транспортних газогенераторах відбувається менш ефективно, ніж це можливо в стаціонарних умовах, де ККК процесу може досягати 80 %. Теплота згорання газу, що отримується в результаті газифікації вугілля, або точніше, об'ємна теплота згорання робочої суміші при однаковому коефіцієнті надлишку повітря, виявляється нижче, ніж у звичайного дизельного палива. В результаті для отримання рівноцінної тягової потужності локомотива потрібно значне збільшення робочого об'єму двигуна (числа або розмірів циліндрів). Вартість такого тепловоза буде на 25...30 % вище,

ніж традиційного дизельного тієї ж потужності. Вартість експлуатації таких локомотивів також буде вище, оскільки для них потрібно додаткові екіпірувальні пристрої і операції при їх обслуговуванні: зберігання і попередня підготовка вугілля, його завантаження, очищення і видалення шлаку, які раніше були притаманні паровозній тязі.

Велике значення має і екологічний бік процесу. У складі вугілля міститься більше інертних і шкідливих домішок, тому при їх спалюванні збільшується забруднення атмосфери оксидами сірки.

Газотурбінна локомотивна установка на твердому паливі може бути здійснена двома шляхами: на генераторному газі, тобто з газогенератором і пилоподібним вугільним опалюванням.

Перша схема (газогенераторний газотурбовоз) аналогічна розглянутій вище схемі газогенераторного тепловоза з усіма її недоліками. Оскільки газотурбінні установки використовують на локомотивах великої потужності, то в цьому випадку потрібен і газогенератор більшої продуктивності. Сферою можливого застосування такого газогенераторного локомотива може бути швидкісний пасажирський рух на неелектрифікованих лініях.

Друга схема вимагає попередньої підготовки пилоподібного вугілля в стаціонарних умовах або на самому локомотиві. Принципово ця схема можлива, але вона не бездоганна в екологічному відношенні - вона пов'язана з концентрованим викидом так званої «леткої золи». Робота турбіни на пилоподібному паливі неминуче пов'язана з інтенсивним абразивним зносом її соплового апарату і лопаток.

Незважаючи на усі мінуси, не виключено, що цей шлях зниження споживання дизельного палива і природного газу може бути затребуваний в майбутньому.

Паросилові енергетичні установки. Оскільки застосування твердого палива на локомотивах розглядається як варіант альтернативи рідкому паливу, то періодично виникають пропозиції про «повернення до паровоза», тобто про використання для локомотивів паросилової енергетичної установки на сучасному технічному рівні.

Для можливості ефективного використання паросилової енергетичної установки в ролі ЛЕУ автономного локомотиву

потрібне рішення цілого ряду складних технічних завдань на сучасному рівні науки та техніки:

– застосування багатоциліндрової парової машини (із загальним валом для усіх циліндрів — за типом колінчастого валу ДВЗ);

– двоступінчате розширення пари з проміжним її підігріванням;

– застосування парової турбіни замість парової машини (паротурбовоз);

– спалювання вугільного пилу в «киплячому» шарі при температурі близько 850 °С за типом нових стаціонарних парогенераторів;

– двоступінчате спалювання вугілля в топці парового котла (газифікація в шарі при нестачі повітря і подальше спалювання газової суміші).

Розглядаються можливості зменшення споживання води (за рахунок конденсації пари в тендері-конденсаторі за типом створеного в передвоєнні роки для паровозів СО).

Як видно з огляду, нині вже є значний науково-технічний заділ для можливості створення сучасних автономних локомотивів на твердому паливі. Проте реальні потреби у використанні цих розробок виникнуть, мабуть, не скоро.

Без зміни конструкції двигуна застосовується *газоконденсатне паливо*, яке є сумішшю легкокиплячих нафтових вуглеводнів, що знаходяться у природі в підземних пластах в газоподібному стані під тиском 4,9...9,8 МПа при температурі 150 °С. При охолодженні і зниженні тиску до атмосферного (в умовах земної поверхні) суміш розпадається на рідку (конденсат) і газову складові.

Усі газові конденсати складаються в основному з нафтових і парафінових вуглеводнів і майже не містять ароматичних вуглеводнів. Вони мають низьку детонаційну стійкість і в основному використовуються як дизельне паливо марок ГШЗ і ГШЛ (таблиця 8).

Таблиця 10 - Показники якості дизельних та газоконденсатних палив

Показник	Дизельне паливо	Газовий
----------	-----------------	---------

		за ДСТУ 3868-99		конденсат	
		Л	3	ГШ Л	ГШЗ
Цетанове число, не менше		45	45	42	40
Фракційний склад, °С	t _{50%} , не більше	280	280	260	260
	t _{96%} , не більше	370	370	360	340
Кінематична в'язкість при 20°С, мм ² /с		3,0... 6,0	1,8...6,0	2,0	1,45
Температура помутніння, °С, не більше		-5	-15	-5	-25
Температура застигання, °С, не більше		-10	-25	-15	-35
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не менше / не більше (для дизелів загального призначення)		40/-	35/-	-15	-12

ГШЗ - газоконденсатне широкофракційне паливо, яке одержують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з дизельним паливом, використовують при температурі навколишнього середовища -35 °С і вище.

ГШЛ - одержують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з товарними дизельними паливами, застосовують при температурах навколишнього середовища вище -5 °С.

Газоконденсатні палива мають цетанове число менше, ніж у звичайного дизельного палива. Це призводить до великої затримки самозаймання та зменшення подачі палива і, як результат, до зниження потужності двигуна орієнтовно на 7 %. Відповідне регулювання паливної апаратури дозволить уникнути цієї проблеми, а також витримати на належному рівні економічність та ефективність роботи дизеля й навіть поліпшити його динамічні показники.

Крім перерахованих альтернативних видів палива для ДВЗ є багато перспективних видів — спирти (метанол, етанол), ефіри, біопаливо, водень, вода як домішка до палива, енергія розщеплення атома.

Спирти. Разом з газовими моторними паливами як альтернативне паливо найбільш широко використовуються

спиртні палива, які являють собою низькомолекулярні спирти - *метанол, етанол*, або так звані оксигенатні палива, що містять у своєму складі разом з вуглеводневим паливом (бензином, дизельним паливом) різні кількості кисневмісних добавок (спиртів та ефірів).

З великого числа аліфатичних спиртів як моторні палива знайшли застосування тільки метанол і етанол, виробництво яких має значні обсяги виробництва - десятки мільйонів тонн. Вони мають високі антидетонаційні властивості (ОЧ близько 100), знижений вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах, можливість виробництва з альтернативних джерел сировини.

Метанол - метиловий або деревний спирт, для виробництва якого сировиною служать природний газ, нафтові залишки, а останнім часом і вугілля, відходи лісового господарства, біомаса та міські відходи. Енергетичний коефіцієнт корисної дії виробництва метанолу з вугілля становить приблизно 45...50 %, що трохи вище, ніж при виробництві дизельного палива і бензину (40 %). При виробництві метанолу із деревини цей коефіцієнт знаходиться в межах 42...50 %, а з природного газу - 60...70 %.

Етанол - етиловий або винний спирт, який виробляється із злаків, картоплі, цукрової тростини та ін., застосовується як в суміші з бензином, так і в чистому вигляді.

Серед *основних недоліків спиртів як моторних палив* слід виділити такі, як знижена теплота згорання в порівнянні з вуглеводневими паливами; низька енергощільність, що збільшує у два рази питому витрату; утруднений пуск холодного двигуна; висока корозійна агресивність (особливо на гумотехнічні і пластикові деталі устаткування і двигунів); потрібна істотна модернізація системи подачі палива.

Високі антидетонаційні властивості спиртів визначають їх переважне використання у ДВЗ з примусовим (іскровим) запаленням. Використання спиртів у дизельних двигунах утруднене через низькі цетанові числа (3...8), високу температуру самозаймання (в 1,5...2 рази вище, ніж у дизельного палива) і низькі мастильні властивості, що призводить до підвищеного зносу паливних насосів.

Тому в даний час все більш широке застосування знаходять так звані *сумішеві палива*, наприклад, застосування суміші із 15 %

метанолу та 85 % бензину (призначається як М15) дає позитивні результати.

На даний час застосування спиртів як рідких палив для ДВЗ обмежене через високу їх вартість та невирішені питання з токсичністю (особливо метанолу), великі витрати харчових продуктів при виробництві етанолу (винного спирту).

Ефіри належать до оксигенатних палив, тобто продуктів, у склад яких входить кисень. І хоча до складу розглянутих вище спиртів також входить кисень, термін "оксигенатні" вперше був застосований саме до палив, які містять у своєму складі прості ефіри.

Широке застосування як моторні палива отримали такі ефіри, як *метилтретбутиловий (МТБЕ)* - застосовується як добавка до бензинів, та *диметиловий ефір (ДМЕ)* - застосовується як добавка до дизельного палива або його повний заміник.

При додаванні МТБЕ у бензин підвищується октанове число, поліпшуються пускові якості, потужність та економічність двигуна; зменшується знос деталей та утворення на них нагару і лакових відкладень; стабілізуються властивості моторної оливи; знижується токсичність ВГ (приблизно на 10 %). В таблиці 9 наведені характеристики для перспективних палив.

Таблиця 9 - Порівняльна характеристика бензину та перспективних палив

Показник		Бензин	Метано л	Етанол	МТБЕ
Октанове число	за дослідницьким методом	80...98	114	111	117
	за моторним методом	76...88	95	94	100
Кінематична в'язкість при 20°C, мм ² /с		0,65	0,55	1,76	0,75
Густина за 20°C, кг/м ³		700	800	790	750
Температура, °C	кипіння	35...195	65	78	51... 62
	кристалізації	-60	-98	-115	-105
	самозайманн я	255... 370	464	423	421

	займання	-27...-39	8	13	11
Тиск насичених парів за 20°C, кПа		66,5...93	12,1	5,6	58,4
Границі займання об'ємні, %		0,8...5,2	5,5...36	4,3...19	-
Масова частка кисню, %		-	49,9	34,7	18,2
Теплота згоряння, кДж/г·моль		254	238	278	-
Розчинність у воді, %		0,0008	Повна	Повна	14,3

Що стосується застосування диметилового ефіру (ДМЕ), то, на думку експертів, у даний час він є одним з найперспективніших палив для дизельних двигунів. Перспективність цього дизельного палива визначається двома основними обставинами:

- сировиною для виробництва ДМЕ є природний газ;
- високими експлуатаційними й екологічними властивостями.

Серед позитивних експлуатаційних якостей ДМЕ (таблиця 10) необхідно відзначити таке:

- високе цетанове число (55...60 од.);
- відсутність сірки в ДМЕ вирішує проблему вмісту оксидів сірки у відпрацьованих газах;
- наявність у молекулі ДМЕ атому кисню забезпечує повноту згоряння ДМЕ, що забезпечує практичну відсутність у камері згоряння нагару і частинок сажі у відпрацьованих газах;
- зниження температури горіння палива в камері згоряння і, як наслідок, зниження вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах;
- стійка робота двигуна на всіх режимах, включаючи режим пуску та холостого ходу без втрати потужності та економічності (в енергетичному еквіваленті).

Таблиця 10 - Фізико-хімічні властивості палив для дизельних двигунів

Показник	Нафтове дизельне паливо	ДМЕ
Молярна маса	148,6	46,07
Вміст сірки, ppm*	нижче 500	нижче 5
Масова частка ароматичних	25	відсутні

вуглеводнів, %			
Масова частка кисню, %		сліди	34,7
Тиск насичених парів за 38°C, кПа		0,69	800
Температура, °C	кипіння	180...370	-24,8
	самозаймання	220	235
Теплота згоряння, МДж/кг		42,5	24,8
Цетанове число		40...55	55...60
Кінематична в'язкість при 40°C, мм ² /с		2,0...3,5	0,25
Густина при 15°C, кг/л		0,8...0,84	0,6612
*ppm (part per million) - частин на мільйон			

Найістотнішими недоліками ДМЕ як дизельного палива є в 1,5 разу менша теплота згоряння, що приведе до збільшення витрати ДМЕ в 1,5...1,6 разу в порівнянні з дизельним паливом. Недоліками ДМЕ є також низька кінематична в'язкість (в 20...30 разів менша ніж, у дизельного палива) і дуже погані мастильні властивості. Певні складнощі при упродовженні ДМЕ пов'язані з його низькою температурою кипіння (мінус 24,8 °C), що приведе до необхідності створення інфраструктури для зберігання ДМЕ на складах депо, заправлення, зберігання в баці тепловоза та ін. Вирішення зазначених проблем зробить ДМЕ досить перспективним для застосування як заміник дизельного палива.

Біопаливами (біологічними паливами) називають моторні палива, які одержують з відновлюваних, в основному рослинних джерел, сировини. Етиловий спирт (гідролізний і харчовий), отриманий з рослинної сировини, також часто називають біоетанолом. Окрім біоетанолу, з відновлюваних джерел сировини в промисловому масштабі виробляють біодизельне паливо і так зване паливо P-series.

Для вироблення біодизельного палива можуть використовуватися різні олійні культури (соя, соняшник, рапс і т.п.), а також відходи виробництва яловичого й інших тваринних жирів. Найбільш часто для виробництва біодизельного палива використовують рапсову олію, яка виробляється з насіння рапсу. Однак рапсові або соєві олії — це ще не біодизельне паливо. *Біодизельне паливо - це моноалкілові ефіри довголанцюгових жирних кислот, що одержують з рослинної олії або тваринного*

жиру. Будь-які жири є ефірами довголанцюгових жирних кислот і гліцерину, який за своєю хімічною природою є триатомним спиртом. Це означає, що гліцерин у жирах можна замінювати трьома молекулами метилового спирту (метанолу або етилового спирту). Саме цей ефір метанолу (або етанолу) і довголанцюгових жирних кислот є біодизельним паливом, а процес хімічного заміщення в жирах гліцерину спиртами називається переестерифікацією.

Рослинні оливи (пальмова, соєва, соняшникова, рапсова та ін.) алкілірують та отримують моноєфіри відповідних кислот. Поширеним паливом цього типу є, наприклад, рапсовий метиловий ефір (РМЕ), який використовується у Швеції, ФРН, Франції та інших країнах. Його додають до дизельного палива в концентрації до 30 % без додаткового регулювання двигуна. У західноєвропейських країнах прийнято рішення про обов'язкове додавання РМЕ в дизельне паливо.

Біодизельне паливо може застосовуватися на транспортних двигунах у чистому вигляді і як добавка до нафтового дизельного палива. Основні фізико-хімічні й експлуатаційні властивості біодизельного палива і його суміші з нафтовим дизельним паливом наведені в таблиці 11.

Крім зниженої температури затвердіння (а це важливо для зимових погодних умов України), біодизельне паливо, як моторне паливо, має ряд цінних якостей. Його застосування істотно подовжує час життя двигуна, оскільки таке паливо має кращу мастильну здатність, ніж паливо з нафти. При цьому на 90 % знижується ризик ракових захворювань. За рахунок того, що біодизельне паливо містить 11 % кисню, кількість вуглекислого газу зменшується на 80 %, чадного газу — на 35 %, оксидів сірки — на 100 %, аерозолів — на 32 %, що має першорядне значення для поліпшення екологічної ситуації. Але треба враховувати, що біодизельне паливо виробляється з олійних культур, які є також цінними харчовими продуктами. Тому неможливо повністю перевести ДВЗ для роботи на біодизельне паливо.

Таблиця 11 - Властивості біодизельного палива і його сумішей з нафтовим дизельним паливом

Показники	Нафтове дизельне паливо	Біодизельне паливо	Суміш нафтового та біодизельного палива, %			
			5	20	30	50
Густина при 15°C, кг/м ³	828	88А	833	840	848	858
Цетановий індекс	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51
Найнижча теплота згорання, МДж/л	35,5	32,9	35,3	35,0	34,7	34,2
В'язкість при 40°C, мм ² /с	2,2...2,9	4,5	2,4	2,6	2,7	3,1
Температура спалаху, °C	73	188	75	76	78	83

Палива P-series, які розроблені в Принстонському університеті (США), є сумішшю етанолу, метилтетрагідрофурану (МТГФ), вуглеводнів C5+; в зимові сорти вводиться н-бутан.

Октанові числа палив P-series залежно від складу знаходяться в діапазоні 87...93 одиниці. За екологічними властивостями вони набагато перевершують нафтові бензини за вмістом [СН], СО і NO_x у відпрацьованих газах, вони також менш шкідливі для людини.

Для отримання палив P-series може використовуватися дешева відновлювана сировина - сільськогосподарські, деревні і паперові відходи. Один літр палива P-series еквівалентний одному літру звичайного бензину.

Водень. Донедавна водень розглядався лише як потенційне ефективне паливо. Проте постійно з'являються повідомлення про розробки експериментальних моделей автомобілів та інших транспортних засобів, що працюють на рідкому водні. Технологію використання водню як палива для автомобілів можна вважати повністю відпрацьованою.

Ще на початку 80-х років у колишньому СРСР був випробуваний дослідний автомобіль (РАФ-2203), в кузові якого були встановлені баки з рідким воднем. Аналогічні випробування, включаючи створення дослідного зразка на автівці ГАЗ-24 «Волга», виконані в ІПМаш НАН України (м. Харків).

Інтерес до водню, як моторного палива, обумовлений такими *властивостями*:

– при згорянні водню у двигуні утворюється практично тільки вода, і в цьому відношенні двигун на водневому паливі є найбільш екологічно чистим;

– високі енергетичні властивості водню - 1 кг водню еквівалентний майже 4,5 кг бензину (теплотворна здатність водню 120 МДж/кг, а бензину 44 МДж/кг) тобто в 2,7 рази нижче;

– практично необмежена сировинна база за умови отримання водню з води (за допомогою електролізу);

– при достатньому збідненні суміші можлива бездетонаційна робота водневого двигуна в широкому діапазоні стиснення;

– відсутність вуглецю у водневому паливі призводить до того, що у відпрацьованих газах практично відсутні оксиди вуглецю (СО і СО₂) і незгорілі вуглеводні, а оксидів азоту дуже мало;

– суміш водень-повітря запалюється за наявності водню від 4 до 74 % і горить при температурі вище 500 °С з утворенням парів води.

Основні недоліки водневого палива:

– пожежо- і вибухонебезпека - суміш водню з повітрям утворює гримучий газ, тому потрібна повна герметичність, у тому числі і при заправці;

– навіть у рідкому стані він займає об'єм у 3,5 разу більший, ніж еквівалентна кількість бензину. Необхідна також надійна теплоізоляція баків, оскільки температура зрідженого азоту становить -253 °С й для його зберігання необхідна криогенна температура нижче -120 °С;

– викид оксидів азоту за рахунок більш високої температури горіння водно-повітряної суміші удвічі перевищує викид оксидів азоту бензинового двигуна, але при збідненні суміші кількість цих оксидів різко знижується, а при досягненні коефіцієнта надлишку повітря 1,8 вони зовсім відсутні;

– при роботі стандартного двигуна на водні його потужність знижується на 15...20 %.

Широкий діапазон займання водно-повітряної суміші – 14...74 % та вибухонебезпечності – 18,3...74 % створюють

проблеми при використанні водню. Але висока температура займання (590 °C) і швидке розсіювання в атмосфері дозволяють прирівняти водень за ступенем пожежо- та вибухонебезпечності до природного газу.

Незважаючи на зазначені недоліки, водень є найбільш перспективним паливом взагалі і для двигуна внутрішнього згоряння зокрема. На сьогодні водень використовується як добавка до рідких палив для збагачення їх висококалорійним компонентом. При цьому двигун не потребує ніяких змін. Встановлено, що на режимі холостого ходу на 100 км пробігу автомобіля замість 12,2 кг бензину витрачається всього 5,5 кг бензину і 1,8 кг водню. Отже, 1,8 кг водню замінює 6,7 кг бензину, тобто 1,8 кг водню дає змогу зекономити 50...55 % бензину.

Слід урахувати, що вартість водневого палива не вища, ніж інших видів синтетичного палива. При цьому концентрація оксиду вуглецю у відпрацьованих газах знижується в 13 разів, оксидів азоту — в п'ять разів, вуглеводнів — на 30 %, якщо вводити водень в горючу суміш на режимах холостого ходу, малих та середніх навантаженнях. Передчасне запалювання і жорсткості згоряння водно-повітряних сумішей можливо усунути упорскуванням водню безпосередньо в камеру згоряння.

Висока температура самозаймання водно-повітряної суміші утруднює використання водню як паливо для дизельних двигунів. Стійке займання може бути забезпечене або примусовим підпалом від свічки або організацією роботи двигуна в газодизельному режимі, коли запалювання виникає за рахунок невеликої кількості дизельного палива, що подається в циліндр разом із воднем.

Технічні труднощі при використанні і висока вартість водню привели до того, що надається увага розробленню комбінованого палива бензин-водень.

Перспективним способом зберігання водню на борту транспортного засобу є металогідридні акумулятори. Виділення водню із балонів, заповнених гідридом, забезпечується їх підігріванням рідиною із системи охолодження двигуна або вихлопними газами. Гідридні акумулятори можна заряджати та розряджати декілька тисяч циклів без втрати енергоємності. У

разі аварії та руйнування зовнішньої оболонки ємності для зберігання частина водню швидко випаровується, викликаючи тим самим охолодження акумулятора і зупинку виділення водню. Гідридний акумулятор водню набагато безпечніший за бак із бензином.

З огляду перспектив застосування водневої енергетики в майбутньому найважливішими є економічні фактори. В цьому відношенні водень як енергоносіє не має конкурентів. Сировинні ресурси для одержання водню необмежені: його можна одержати з біомаси у результаті газування вугілля, часткового окиснення вуглеводневого палива, застосовуючи сонячне випромінювання, а також у результаті електролізу води. Але для здобуття водню потрібна велика кількість енергії. Собівартість цих методів, у перерахунку на енергетичну одиницю, у 2...10 разів вища, ніж одержання природного горючого газу.

Можливість використання водню в локомотивній тязі здається досить віддаленою. Але в принципі це можуть бути тепловози з дизелем на рідкому водневому паливі - це ті ж газотепловози з криогенною системою зберігання зрідженого газу.

З метою економії бензину та раціональнішого використання низькооктанових бензинів останнім часом активно ведуться роботи щодо використання *води як домішки до палива*.

Механізм дії води на робочий процес у ДВЗ вивчений не повністю, але вважається, що при додаванні води підвищується октанове число палива, зростає потужність і економічність роботи. Деякі фахівці вважають, що вода є не тільки каталізатором, а й безпосередньо бере участь у процесі горіння суміші.

Вода може подаватися безпосереднім впорскуванням у циліндри або впускну систему двигуна, а також у вигляді водобензинової емульсії (ВБЕ), приготовленої раніше. Використання ВБЕ пов'язане з рішенням низки практичних завдань:

- створенням водобензинової емульсії;
- розробкою ефективних ПАР;
- створенням раціональної системи виготовлення і використання водобензинової емульсії в депо.

Практика показала, що через підвищену в'язкість ВБЕ до її складу поки що можна вводити не більш як 10 % води.

Незважаючи на перелічені недоліки, практика показує, що при роботі двигуна на ВБЕ з умістом 10...30 % води питома витрата бензину знижується на 12...22 % при повних навантаженнях і на 7... 10 % - при середніх. Крім того, приблизно в 2...6 разів знижується вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигуна.

У дизелях можна також використовувати обводнене дизельне паливо - водопаливну емульсію (ВПЕ), що характеризується вищою фізичною стабільністю, ніж ВБЕ, і для її приготування потрібно значно менше ПАР.

В разі використання в дизелях ВПЕ питому витрату палива можна знизити на 2...6 %. Димність відпрацьованих газів при цьому зменшується завдяки впливу водяних парів на процес газифікації вуглецю (сажі).

У далекому майбутньому можливе застосування *енергії ділення ядер атомів*, наприклад урану, при якому виділяється теплова енергія для створення наземних транспортних засобів з ядерною силовою установкою (ЯСУ).

Фахівці вважають, що розвиток атомної енергетики - необхідний шлях виходу з енергетичної безвиході, пов'язаного з неминучим збільшенням дефіцитності природного органічного палива - нафти і газу. Інша точка зору, яка не має наукового обґрунтування, але поширена серед населення, наполягає на тому, що безпека АЕС не може бути гарантована.

Інтерес до локомотивів з ядерною силовою установкою (ЯСУ) виник ще в 60-х роках минулого століття, коли було розроблено, у тому числі і в СРСР, декілька різних проектів. Таких локомотивів і сьогодні у світі ще немає, але опрацювання проектів виконуються, і у наш час і на найсучаснішому рівні.

Принцип дії локомотива з ЯСУ не відрізняється від принципу дії усіх автономних локомотивів. Ядерна силова установка — атомний реактор — є тепловим генератором, тобто джерелом теплової енергії, яка виділяється в процесі ланцюгової реакції ділення (розпаду) атомів ядерного палива. За допомогою теплоносія ця енергія передається в теплообмінник робочому тілу, яке в якомусь тепловому двигуні, у свою чергу, перетворить

свою теплову енергію в механічну роботу, яку далі можна використати для створення сили тяги.

Проте, виконані в США розрахунки показали, що локомотив такого типу не може мати очевидних техніко-економічних переваг в порівнянні із звичайним тепловозом - скорочення витрат на паливо в експлуатації перекриватиметься в приведених витратах значно більшою вартістю самого локомотива і збільшенням витрат на його обслуговування. Приблизно такі ж якості мав би тепловоз з дизелем, переобладнані на водневе паливо.

7 Правила поводження з паливом

Пари дизельного палива шкідливі для здоров'я людини, вони також вогненебезпечні та вибухонебезпечні. Тому при зливів, зберіганні і застосуванні палива і оливи обслуговуючий персонал локомотивних депо і складів палива повинен завжди дотримуватися правил особистої та протипожежної безпеки. Працівники, які контактують з дизельним паливом, повинні знати, що дизельне паливо має отруйні властивості. Вдихання парів дизельного палива, потрапляння їх усередину організму можуть викликати важке отруєння.

Недбале поводження з дизельним паливом може привести до захворювання шкірного покриву (дерматити, екзема).

Локомотивні і ремонтні бригади повинні постійно стежити за герметичністю паливної та оливної систем.

Паливо, масло та інші забруднення, що з'явилися у відсіках дизеля тепловоза, слід видаляти за допомогою шприців або інших пристосувань.

Для захисту шкіри від шкідливої дії дизельного палива і оливи рекомендується перед роботою і після неї змащувати руки мазями (ланоліном, вазеліном, пастою «біологічні перчатки» та ін.).

Слід пам'ятати, що займання дизельного палива при зберіганні і застосуванні може відбутися не тільки від відкритого вогню, але також і при нагріванні до певних температур. При терті дизельного палива об метали, гуму і тканини можуть виникнути заряди статичної електрики. Електризація палива

може відбуватися при ударі струменя палива по твердій поверхні при наливанні в резервуар, коли струмінь падає з великої висоти і розбивається на дрібні краплі, а також під час проходження палива по трубопроводах, рукавах та ін.

Якщо бак або резервуар не заземлений, може зібратися статична електрика, здатна при замиканні дати іскру, достатню для запалення парів дизельного палива.

Для усунення пожеж і вибухів на нафтоскладах і тепловозах необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки:

а) паливозаправні пристосування і ті місця, де може накопичуватись статична електрика, необхідно заземлювати;

б) забороняється застосовувати відкритий вогонь, палити на заправних пунктах, в дизельному приміщенні, а також запалювати сірники, факел, користуватися гасовим ліхтарем біля паливних баків, в дизельному приміщенні і нафтосховищах;

в) обтиральні матеріали, просочені паливом, слід зберігати в спеціальних залізних ящиках;

г) забороняється відгвинчувати пробки паливних баків ударами молотка, зубила, так як це може викликати утворення іскор. При необхідності для цього можна користуватися мідними або обмідненими ключами.

Питання для модульного контролю

- 1 Які переваги та недоліки дизельних двигунів порівняно з бензиновими?
- 2 Які вимоги ставляться до дизельного палива?
- 3 Що таке цетанове число дизельного палива, його значення та вплив на роботу двигуна?
- 4 Що таке жорсткість роботи дизельного двигуна?
- 5 Засоби визначення цетанового числа та його підвищення.
- 6 Від яких показників властивостей дизельного палива і як саме залежить прокачування палива?
- 7 Надайте перелік властивостей дизельного палива та їхню характеристику.
- 8 Якими показниками характеризуються низькотемпературні властивості дизельного палива та як його поліпшити в умовах експлуатації?
- 9 Як впливає фракційний склад дизельного палива на роботу та зношування деталей двигуна, витрати палива й оливи, а також на відпрацьовані гази?
- 10 Вплив сірки та сірчаних сполучень на роботу двигуна, нагаровідкладення та зношування деталей циліндропоршневої групи.
- 11 Назвіть асортимент і маркування дизельного палива.
- 12 Назвіть асортимент і маркування зарубіжного дизельного палива.
- 13 Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-Л-Євро5-В5.
- 14 Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-3-Євро4-В0.
- 15 Від чого залежать смоловідкладення та нагароутворення у двигуні й які методи їх зниження?
- 16 Назвіть марки палива важкого фракційного складу та завод-виробник.
- 17 Склад нагару й якими властивостями палива його оцінюють?
- 18 Назвіть фази створення нагароутворення.
- 19 Призначення та види присадок до моторних палив.

- 20 Що називається альтернативним паливом? Які основні види альтернативних палив?
- 21 У чому полягають особливості використання газоподібного палива?
- 22 Як класифікується газоподібне паливо?
- 23 Назвіть переваги та недоліки газоподібного палива.
- 24 Які основні компоненти стисненого природного газу?
- 25 Які переваги та недоліки стиснених природних газів як палива для ДВЗ?
- 26 Які основні компоненти зріджених газів?
- 27 Які марки палив із зріджених газів?
- 28 Як зберігається зріджений газ на борту транспортного засобу?
- 29 Які переваги та недоліки застосування зрідженого газу як палива для ДВЗ?
- 30 Які основні напрямки переведення тепловозних ДВЗ на стиснений та зріджений природний газ?
- 31 Наведіть приклади застосування газоподібного палива на залізничному транспорті.
- 32 Що таке газовий конденсат і де він застосовується?
- 33 Які марки газоконденсатного палива випускаються промисловістю?
- 34 Які особливості застосування газового конденсату як палива для ДВЗ?
- 35 Які види палива належать до перспективних?
- 36 Які переваги та недоліки спиртів як палива для ДВЗ?
- 37 З якої сировини отримують промисловим способом метанол і етанол?
- 38 Яке октанове число мають метанол та етанол?
- 39 Як впливає додавання спиртів у дизельне паливо на його властивості?
- 40 Що являє собою метилтребутиловий ефір?
- 41 Які позитивні результати додавання МТБЕ до бензинів?
- 42 Які позитивні якості диметилового ефіру як альтернативного дизельного палива?
- 43 У чому полягають недоліки диметилового ефіру, які обмежують його використання?

- 44 Що служить речовиною для одержання біодизельного палива?
- 45 Які позитивні результати застосування біодизельного палива?
- 46 Які перспективи біодизельного палива в Україні?
- 47 Що таке паливо P-series?
- 48 Застосування водню як моторного палива, його переваги та недоліки?
- 49 Назвіть сировинні ресурси для одержання водню.
- 50 Який сучасний промисловий спосіб одержання водню?
- 51 Як зберігають водень на транспортних засобах?
- 52 Які переваги зберігання водню в складі металогідридів?
- 53 На яких режимах роботи двигуна доцільно застосовувати водень?
- 54 Як впливає застосування водню на зменшення шкідливості відпрацьованих газів?
- 55 Які перспективи використання водню як палива?
- 56 Застосування води як домішки до палива. Що таке ВБЕ та ВПЕ?
- 57 Назвіть засоби отримання синтетичного рідкого палива для ДВЗ з кам'яного вугілля, торфу, сланців та битумінозних пісків.
- 58 Перспективи застосування газогенераторних, газотурбінних, паросилових установок на локомотивах.
- 59 Назвіть основні правила поведження з паливом та вплив на працівників локомотивних депо.
- 60 У чому зберігають палива на складах локомотивного господарства?

Список літератури

- 1 Мурзин, Л.Г. Топливо, вода, смазка [Текст] / Л.Г. Мурзин, В.М. Гончаров. - М.: Транспорт, 1981. -253 с.
- 2 Меркурьев, Г.Д. Локомотивным бригадам о топливе и смазочных материалах [Текст] / Г.Д. Меркурьев. - М.: Транспорт, 1988. -125 с.
- 3 Аржанухин, Г.В. Эксплуатационные материалы: топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст]: Учеб. пособие / Г.В. Аржанухин. - М.: МГИУ, 2006. - 83 с.
- 4 Васильев, В. Диметиловый эфир. Надежды конструкторов, водителей и экологов [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://os1.ru/article/5472-dimetiloviy-efir-nadejdy-konstruktorov-voditeley-i-ekologov/> - (Дата обращения 20.09.2016).
- 5 Данилов, А.М. Применение присадок в топливах [Текст]/ А.М. Данилов. - М.: Мир, 2005.-288 с.
- 6 Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы [Текст]: учебник / А.В. Кузнецов. - М.: КолосС, 2007. - 198 с.
- 7 Полянський, С.К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин [Текст]: підручник / С.К.Полянський. - К.: Либідь, 2005. - 504 с.
- 8 Стрелко, В. Биодизель - актуальная идея столетней давности [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://www.biodisel.com.ua/category//> - (Дата обращения 15.03.2016).
- 9 Стуканов, В.А. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст]: учеб. пособие. Лабораторный практикум / В.А. Стуканов. - М.:ИД "Форум": ИНФРА-М, 2006. - 208 с.
- 10 Итинская, Н.И. Топливо, масла и технические жидкости [Текст]: справочник / Н.И. Итинская, Н.А. Кузнецов. - М.: ВО Агропромиздат, 1989. - 304 с.
- 11 Автомобильные эксплуатационные материалы зарубежного производства [Электронный ресурс]. - Режим доступа http://vtk34.narod.ru/shevireva_avtmatzarub/intex/htm. - (Дата обращения 15.03.2016).

12 Капустин, В.М. Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками [Текст] / В. М. Капустин. - М.: КолосС, 2008. – 232 с.

13 Бойченко, С.В. Хімотологія [Текст]: навч. посібник / С.В. Бойченко [та ін.]. - К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. - 160 с.

14 Звонов, В.А. Метанол как топливо транспортных двигателей [Текст]/ В. А. Звонов, В. И. Черных, В. К. Балакин. - Харьков: Основа, 1990. – 154 с.

15 Кравець, А.М. Альтернативні види палива для двигунів внутрішнього згоряння [Текст]: конспект лекцій / А. М. Кравець. - Харків: УкрДАЗТ, 2010. - 29 с.

Д.С.Жалкін, С.Г.Жалкін

Хімотологія дизельних палив.
Альтернативні види палива

Конспект лекцій з дисципліни

«Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування
підприємств та екологія локомотивного господарства»

Відповідальний за випуск М.В. Максимов

Редактор _____

Підписано до друку _____

Формат паперу 60x84 1/16 Папір писальний
Умовн. друк. арк. Тираж____ Замовлення_____

Видавець та виготовлювач Український державний
університет залізничного транспорту
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №2874 від
12.06.2007 р.